

UNTERSUCHUNGEN DER DIMENSIONSÄNDERUNG
VON GEGOSSENEN METALLKRONEN
IM VERGLEICH ZU IHREM WACHSMODELL

EBERHARD SCHRAFT

1973
—



Dipl.-Kfm. A. Koch
(Kurfürstendruck)
8 München 23
Clemensstraße 27
Telefon 342149



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554607_0054

Aus der Prothetischen Abteilung
(Vorstand: Prof. Dr. E. Kraft)
der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
(Direktor: Prof. Dr. Dr. J. Heiss) der Universität München

UNTERSUCHUNGEN DER DIMENSIONSÄNDERUNG
VON GEGOSSENEN METALLKRONEN IM VERGLEICH
ZU IHREM WACHSMODELL

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktowürde in der Zahnheilkunde
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Eberhard Schraft
München 1973

Mit der Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:

Prof. Dr. E. Kraft

Dekan:

Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung:

20. Februar 1973



INHALTSVERZEICHNIS

I.	ZWECK UND ZIEL DER ARBEIT	Seite 1
II.	KRITISCHE BEWERTUNG DER LITERATUR	3
	Verhalten des Wachses	3
	Gußkanal	5
	Oberflächenbehandlung des Wachsmodells	7
	Metallmuffel und Asbestauskleidung	9
	Einbettmassen	12
	Einbettmethoden	16
	Ausbrennen und Vorwärmen	20
	Gußverzugszeit	22
	Gußapparat	23
	Behandlung nach dem Guß	27
	Derzeitige Prüfverfahren	29
III.	EXPERIMENTELLER TEIL	32
1.	Probekörper und Versuchsablauf	32
2.	Vorversuche und Ergebnisse	42
3.	Hauptversuche	52
	a) Ergebnisse	54
	b) Kritik der Ergebnisse	61
4.	Zusatzversuch	63
	a) Begründung	63
	b) Versuchsanordnung	64
	c) Ergebnisse	67
IV.	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	70
V.	ZUSAMMENFASSUNG	72
VI.	SCHRIFTTUM	75

I. Zweck und Ziel der Arbeit

Während früher die Ringbandkrone bevorzugt wurde, setzt sich in jüngster Zeit mehr und mehr die Gußkrone durch.

Wie Untersuchungen an Hand der von EICHNER (12) herausgegebenen statistischen Bögen ergaben, waren nach HÜTTNER (29) 44.6% der eingesetzten Kronen mit abstehenden Rändern behaftet, oder es fehlten die Kontaktpunkte. Aufgeteilt in Bandhülsen- und Gußkronen zeigten überwiegend die Bandkronen ein schlechteres Ergebnis. Sie sind in 90.4% mangelhaft, während bei Gußkronen der Prozentsatz nur bei 28.6% liegt.

In Untersuchungen konnte auch festgestellt werden, daß gegenüber früheren Untersuchungen eine Zunahme der Gußfüllungen im Verhältnis zu den Bandkronen zu verzeichnen ist. Ähnliche Ergebnisse, wenn auch nicht statistisch gesichert, hatten FUHR, KARES und SIEBERT (18).

Sie befaßten sich mit den Reaktionen am Gingivalsaum und stellten in vielen Fällen Entzündungen durch überstehende Ränder fest. Recht deprimierend für den Zahnarzt sind die Ergebnisse von GROPP und SCHWINDLING (22). Ihre Untersuchungen zeigten, daß bei 320 nachuntersuchten Kronen, lediglich 5% einwandfrei gestaltet waren und keine pathologischen Reaktionen zur Folge hatten. Bei diesen 5% dominierten besonders die Gußkronen. Mehr Aufschluß über die Kronenrandverhältnisse gibt uns die Arbeit von WINDECKER und OHLE (70). Sie hatten anhand von Schliffen durch Stumpf und aufzementierte Krone im Randbereich dargestellt, daß

Spalten verschiedensten Ausmaßes vorhanden sind. Interessant ist vor allem auch, daß diese bei Bandkronen am größten sind und zwar an den Stellen, wo durch Präparation, oder Zahnform eine Einziehung vorliegt. So möchte ich mich der Meinung von WINDECKER und OHLE (70) anschließen, wenn sie sagen, daß hier die Grenzen der Bandkronen liegen. Günstiger sind die Bedingungen bei Gußkronen, sie können in ihren Konturen dem Zahn beliebig folgen. Deren Paßform schnitt in ihren Untersuchungen besser ab. Wenn wir Versuche über die Formtreue der Gußkrone anstreben, so müssen wir uns darüber im klaren sein, wie komplex der Werdegang einer solchen Krone ist. Er läuft in der indirekten Technik über drei Positiv- und drei Negativformen ab; daß natürlich mit jeder dieser Form eine Fehlerquelle gegeben ist, erscheint durchaus verständlich. Nach den Arbeiten von GROTH (23), der sich mit der Abdrucknahme für Kronen befaßte, und von REITHER und STECK (51), die den Werdegang der Krone bis zum Einbettmassen negativ verfolgten, soll sich diese Arbeit mit der Formveränderung bis zum gegossenen Objekt befassen.

II. Kritische Bewertung der Literatur

Verhalten des Wachses

Das Wachs wurde von MAVES und LASATER (46), GRÜNDLER (24), SPRENG (60), JANKE (33), REITHER (50) u.a. als instabilstes Glied in der Reihe der indirekten Technik bezeichnet. Es wurde versucht, das Wachs in seiner labilen Form zu umgehen. JANKE (32) beschrieb z.B. eine Methode für Kronen und Inlays, bei der er Wachsmodelle auf einem Einbettmassemodell herstellte und mit diesem einbettete.

Wie unterschiedlich die Wachse, die in der Zahnheilkunde Verwendung finden, auch sein mögen, eines haben sie doch gemeinsam; nämlich ihre starke Schrumpfung bei der Erstarrung und Abkühlung von Verarbeitung- auf Zimmertemperatur und die Neigung zu latenten Spannungen, die sich bei längeren Lagern bei Zimmertemperatur, oder durch Erwärmung, in deutlichen Veränderungen der Form ausdrücken. Ersteres läßt sich durch niedere Verarbeitungstemperatur unterbinden. So wird von vielen Autoren vorgeschlagen, das Wachs im plastischen Zustand zu verarbeiten; auf keinen Fall sollte jedoch flüssiges Wachs nachgetragen werden. Der sogenannten latenten Elastizität des fertigen Wachsmodells läßt sich durch Entspannen entgegen. Als hierfür nötige Temperatur gibt KUBASCH (40) 30°C, FUSAYAMA (19) 38°C und SCHEFFLER (54) 43°C an. Die Temperaturen sind genauso verschieden wie die Wachssorten, daher ist

es sicher besser, eine Temperatur zu wählen bei der das verarbeitete Wachs gerade plastisch wird. So empfiehlt SPRENG (60) Wachs in kleine Streifen zu schneiden, diese in Wasserbädern von verschiedenen Temperaturen zu erwärmen und dann im Wasserbad zu Ringe zu biegen. Ist die richtige Temperatur erreicht, so verharren die Streifen in der vorgegebenen Stellung und verändern sich weder bei weiterer Erwärmung noch bei Abkühlung des Wasserbades.

Eine weitere Eigenschaft des Wachses, die im Rahmen dieser Arbeit von Bedeutung ist, ist der unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizient für die einzelnen Temperaturbereiche. Nach NELKE (47) nimmt die Ausdehnung mit steigender Temperatur zu und bewegt sich im Bereich von 0.05% bis 0.07%lin. pro °C. DREYER-JÖRGENSEN (10) berichtet bei der Abkühlung von Mund auf Zimmertemperatur von einer Volumenabnahme zwischen 1.5% und 4.0%, das ist gleichbedeutend mit einer linearen Ausdehnung von 0.5% - 1.3% und entspricht auch dem von NELKE (47) angegebenen Wert von 1.2%lin. im Temperaturbereich von 20 - 37°C.

Der Gußkanal

Der Gußkanal soll sowohl einen guten und ungestörten Zufluß für das flüssige Metall gewährleisten, als auch Vorratsbehälter sein, für das zum Ausgleich der Erstarrungsschrumpfung benötigte Metall.

Die Gußkanäle von 3 mm Stärke erwiesen sich nach JUNG und QUAST (35), VOSS (64), WAGNER (66) u.a. als günstig. Der früher vielfach empfohlene verlorene Kopf wird aus zwei Gründen abgelehnt. Einmal kann das Schmelzreservoir, durch die Verengung zum Gußobjekt hin, durch vorzeitige Erstarrung, nicht ausgenutzt werden und zweitens wird nach KYSELOVA (41) und VOSS (64) die im verlorenen Kopf befindliche Luft durch das einschießende Metall, wie bei einer Wasserstrahlpumpe, mitgerissen und erzeugt gerade das, was der verlorene Kopf vermeiden soll, nämlich Lunker. Zur Beruhigung des Schmelzflusses schlägt VOSS (64) eine syphonartige Krümmung des Gußkanals vor; jedoch steht dies im Gegensatz zu der Forderung einer laminaren Strömung die andere Autoren erheben. Eine Entlüftung hat nach HENNING, VOSS (64) u.a. nur dann einen Sinn, wenn sie an der, dem Gußtrichter nahen Seite des Gußobjekts angebracht wird, da die Entlüftungskanäle sonst verlegt und damit unwirksam werden. Um gute Paßform zu erzielen, erwies sich nach Untersuchungen bei DEGUSSA (DEGUSSABRIEF Nr. 39) (8) und WETTERSTRÖM (69) ein unter 45° an der Okklusalkante angesetzter Gußkanal als günstig. Ferner müssen nach DEGUSSA die Gußkanäle so angebracht werden, daß die Schmelze:

1. möglichst ohne schroffe Richtungsänderung in die Hohlform einfließen kann;
2. immer von dickeren Gußteilen zu dünneren fließt, nie umgekehrt;
3. keine Teile der Einbettmasse absprengen kann.

Ferner soll der Gußkanal im Zentrum der Muffel liegen, das Gußobjekt jedoch außerhalb der heißesten Zone, um so eine gezielte Erstarrung zu gewährleisten, MARX (44), VOSS (64), WAGNER (66) u.a. Durch Gußkanäle erreicht man ferner eine bodennahe Lage des Gußobjekts, die gerade bei festen Einbettmassen das Entweichen der verdrängten Luft ermöglicht. Der Vorschlag von WETTERSTROM (69) zwei Gußkanäle anzubringen, der mit dieser Methode hinsichtlich der Paßform, sehr gute Erfahrungen machte, wird von JUNG und QUAIST (35), die Untersuchungen über das Gefüge am Kronenrand machten, in dieser Sicht abgelehnt.

Oberflächenbehandlung des Wachsmodells

Für die Oberflächenbehandlung des Wachsmodells vor dem Einbetten, kommen folgende Maßnahmen in Betracht:

Einmal die sogenannte Entfettung der Oberfläche, mit Fettlösern wie Alkohol oder Chloroform, zum Zweiten das Auftragen von Tensiden, genannt auch Detergentien oder Netzmittel, deren Wirkungsweise sich aus den Bestandteilen der Moleküle, nämlich einem lipophilen und einem hydrophilen Ende ergibt.

SPANNER verwendete Chloroform zum Glätten des Wachsmodells und Seifen oder Sodalösung, wie er sagt, zum Entfetten. Sicherlich wird im letzterem kein echtes Entfetten erreicht, sondern es ist lediglich die oberflächenentspannende Wirkung des am Wachsmodell hafteten Seifenfilms. HENNING (27) ist der Meinung, daß ein Eintauchen in Spiritus oder Chloroform praktisch keine Wirkung in Bezug auf das Entfetten zeigt, da das angelöste Fett beim Eintrocknen des Lösungsmittels wieder dem Wachsmodell anhaftet. Außerdem sind die Bestandteile der Dentalwachse selbst Gemische hydrophober Kohlenwasserstoffe, also wird im Endeffekt mit dem Entfetten nichts erreicht; im DEGUSSABRIEF Nr. 39 (8) wird jedoch ein Anlösen des Wachses und damit ein Aufräumen und somit bessere Haftung der Einbettmasse hervorgerufen. Besser ist jedoch die Wirkungsweise der Tenside. Diese lagern sich in einem dünnen Film mit ihren hydrophoben Gruppen an der Wachsüber-

fläche an und haben dabei ihr hydrophiles Ende frei, für die Bindung mit der Einbettmasse. Die Ergebnisse, die GRASSL (21) in Versuchsreihen mit und ohne Netzmittel anstellte, bringen jedoch auch unter Verwendung von Netzmittel keine überzeugend glatten Oberflächen. Er stellte in seinen Versuchen vielmehr einen wesentlichen Einfluß der Einbettmethode und der Einbettmasse auf die Gußoberfläche fest.

Metallmuffel und Asbestauskleidung

Der Asbeststreifen, den viele Autoren zum Auskleiden der Gußmuffel verwenden, soll eine ungehinderte Expansion der Einbettmasse gewährleisten. Die Probleme die sich aus der Verwendung des Asbeststreifens ergeben sind folgende:

Die Stärke des Asbeststreifens,
sein Wassergehalt und
die lückenlose Auskleidung der
Metallmuffel.

Als notwendige Stärke für einen Asbeststreifen gibt FUSAYAMA (19) mindestens 2 mm an. Das dürfte allerdings bei einem Muffeldurchmesser von 27 mm und bei einer Expansion, die sich in der Größenordnung von max. 2% bewegt, reichlich sein. Um bei der beträchtlichen Stärke die Wasseraufnahme oder Abgabe des Asbeststrings zu vermeiden, empfiehlt FUSAYAMA (19) ihn mit Kakaobutter oder mit Vaseline einzustreichen. BEECK (2) erhielt bei Verwendung einer ausreichenden Asbestauskleidung, die Stärke gibt er allerdings nicht an, eine Expansionszunahme von 0.2%lin. DREYER-JÖRGENSEN (10) dagegen hält die Metallmuffel mit Asbestauskleidung überhaupt für ein schlechtes Gerät zur Erzielung exakter Güsse. Er zieht nach neueren Untersuchungen eine Papiermuffel, wie sie in allen dänischen Dentaldepots erhältlich ist, der Metallmuffel vor. Die Nachteile jedoch, erhöhte Bruchgefahr, Schwierigkeiten beim Einbringen der

Einbettmasse und schnellere Auskühlung des Einbettmassekerns während der Gußverzugszeit, bleiben bei DREYER-JÖRGENSEN (10) unerwähnt. Er begründet seinen Entschluß damit, daß er mit einer mit 0.7 mm starken angefeuchteten Asbesteinlage ausgekleideten Muffel, stark variierende Ergebnisse erhielt, mit Mindestwerten von etwa 0.5% und Höchstwerten von 2.5%. Das heißt, von einer Größenordnung die sehr weit die zulässige übersteigt. Kritisch ist bei diesen Resultaten zu bemerken, daß DREYER-JÖRGENSEN (10) dem Feuchtigkeitsgehalt der Asbestauskleidung keine Bedeutung beimißt und in seinen Ergebnissen sich wahrscheinlich die Resultate verschiedener semihygroskopischer Expansionen widerspiegeln.

WAGNER stellte fest, daß das Gußergebnis nicht wesentlich davon beeinflusst wird, ob Metall- oder Papiermuffeln zum Einbetten verwendet werden. Vorausgesetzt ist natürlich eine vollständige und ausreichende Asbestauskleidung in der Metallmuffel, die zudem einen konstanten Wassergehalt haben soll. DREYER-JÖRGENSEN (10) und WAGNER (65) sind die einzigen mir bekannten Autoren, die darauf hinweisen, daß bereits eine Freilassung eines 3 mm breiten Randes vom Asbeststreifen eine starke Veränderung der Expansionswerte bewirkt. DREYER-JÖRGENSEN (10) begründet das mit der inneren Reibung der expandierenden Einbettmasse.

Die Auskleidung der Muffel mit feuchtem Fließpapier, wie sie heute noch von LENZ und WELKER (42) beschrieben wird, dürfte nach übereinstimmenden An-

gaben anderer Autoren nicht für eine ungehinderte Expansion ausreichen. Die zu geringen Expansionen die LENZ und WELKER (42) mit ihrer Methode hatten, bestätigen diese Annahme. Auch der Arzneimittelausschuß der SSO (1) hält eine ausreichende Asbestauskleidung, die besser zwei Lagen Asbest als eine Lage beträgt, für unentbehrlich. Ferner wird empfohlen, das Asbest anzufeuchten und nicht zu stark anzupressen, da angepresstes Asbest der Einbettmasse keine Expansion nach außen erlaubt und die Expansion so auf das Wachsmodell zu verläuft und hiermit eine Pseudokontraktion bewirken kann. DEGUSSA schlägt vor, den Asbeststreifen trocken einzulegen, die Muffel in Wasser zu tauchen, und genau 1 Minute über einem Löschpapier abtropfen zu lassen, um so einen gleichmäßigen Wassergehalt zu erzielen.

Einbettmassen

Einbettmassen dienen nach VEST (63) entweder zur Einbettung von Metallen, die zum Löten fixiert werden sollen, oder als feuerfeste Hohlform für den Metallguß. So unterschiedlich wie ihre Verwendung ist auch die Forderung die an sie gestellt wird. Während sich die Löteinbettmassen bei optimalem Verhalten beim Erhitzen mit den Metallen ausdehnen sollen, wird von einer Einbettmasse für den Guß eine hohe Expansion verlangt, die den Volumenverlust des Metalls beim Guß ausgleichen soll.

Die Expansion kann mit den feuerfesten Füllstoffen wie Quarz oder Cristobalit, gesteuert werden. Man spricht daher bei den Expansionskurven gerne von einer typischen Cristobalit-, bzw. Quarzkurve (LENZ und WELKER (42)). Der Gips in der Einbettmasse verursacht einige Schwierigkeiten, da sich dieser beim Erhitzen kontrahiert und die thermische Expansion der Füllmaterialien zunichte macht, (VOLLAND und PAFFENBARGER (62)) außerdem erzeugt er am Metall Schädigungen durch Abspalten von Schwefel beim Erhitzen. Die Hersteller bemühen sich daher um sogenannte gipsfreie Einbettmassen, die meist auf Phosphatbasis beruhen. Für die vorgenommenen Versuche wurde in der Hauptsache die gipsfreie Einbettmasse DEGUVEST verwendet. Diese besitzt eine hohe Expansion und soll sich durch verschiedene Verdünnung der Anrührflüssigkeit steuern lassen. Im Vergleich mit den folgenden Forderungen der AMERICAN DENTAL ASSOZIATION erfüllt die Ein-

bettmasse, so gut man dies nach den folgenden Versuchen beurteilen kann, alle Punkte bis auf den Punkt Nr. 3 der allgemeinen Forderungen.

Die ADA Spezifikation Nr. 2 für Einbettmassen.

a) Allgemeine Forderungen

1. Das Material muß hitzebeständig sein und darf nicht bersten.
2. Das Material darf keine verschmutzende Wirkung auf die Gußlegierung haben und sollte weder Oberflächenrauhigkeiten noch Lunkerformation des Gusses bewirken.
3. Beim Erhitzen darf die Einbettmasse keine giftigen oder abstoßenden Gerüche abgeben.

b) Spezifische Forderungen

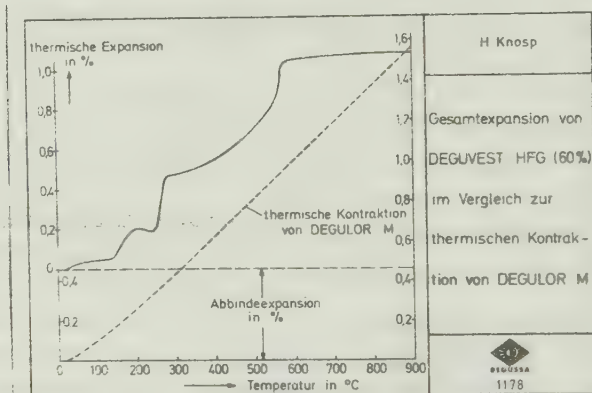
1. Die Abbindeexpansion sollte nach 24 Stunden mindestens 0.05% betragen.
2. Die Wärmeexpansion sollte bei 700° mindestens 0.7% sein.
3. Bei keiner Temperatur über 200° darf eine Kontraktion resultieren.
Bei weniger als 200° darf die Kontraktion nie mehr als 0.15% sein.
4. Die Kompressionsfestigkeit muß mindestens 125 kg/cm² betragen.
5. Die Abbindezeit muß mindestens 5 Min. jedoch nicht mehr als 30 Min. sein.
6. Die Feinkörnigkeit muß der Norm entsprechen.

Die verwendete Einbettmasse ist nach den Werksangaben auf DEGULOR M abgestimmt und soll die Kontrak-

tion des Goldes genau ausgleichen. An dieser Stelle möchte ich die Angaben die mir freundlicherweise von der Fa. DEGUSSA zur Verfügung gestellt wurden anführen (Abb. 1).

Abb. 1

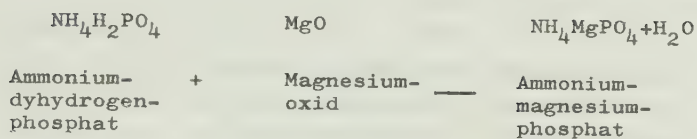
Expansions-
kurve der
Einbettmasse
DEGUVEST HFG



Die Expansionskurve zeigt bei tieferen Temperaturen kleinere Unstetigkeiten, die in der Abgabe von Wasser begründet sind. Zwischen 250° und 300°C folgt dann ein Anstieg der auf eine Umwandlung des Cristobalits zurückzuführen ist, zwischen 450° und 500°C schließt sich ein erneuter Anstieg an, der mit der Umwandlung des Quarzes zusammenhängt, Quarz und Cristobalit sind demnach die beiden Komponenten, die für die thermische Ausdehnung verantwortlich zu machen sind.

Die Abbindereaktion kann dann, ebenso wie bei ähnlichen Massen, schematisch auf die folgende Gleichung

zurückgeführt werden.



Einbettmethoden

ZÄHRINGER (72) unterteilt die Einbettmethoden in drei Hauptgruppen.

1. Methoden zur Erhöhung der Abbindeexpansion mittels Wasserzusatz,
2. Methoden der Verdichtung der Einbettmassen und
3. Methoden, die Wärmeexpansion des Wachses ausnützend.

Bei der ersten Methode möchte ich mich sehr kurz fassen. Die hygroskopische Expansion die von SCHEU (55) 1933 zum erstenmal angegeben wurde, beruht auf der Erkenntnis, daß die Einbettmasse bei Zugabe von Wasser während des Abbindevorgangs stärker expandiert. SCHEU (55) glaubte damals durch bestimmte Dosierung der Flüssigkeitszugabe die Expansion lenken zu können. Doch wie GERLACH (20) bereits 1935 erkannte, wirkte sich gerade diese Eigenschaft negativ auf die Ergebnisse aus. Die Methode zeigte zwar größere Expansionen, jedoch wurde dafür schlechte Steuerbarkeit, ebenso wie veringerte Festigkeit der Hohlform und niedrigere thermische Expansion in Kauf genommen. Wie SCHEU (55) bereits früh entdeckte, hat auch die Asbesteinlage und nicht nur die feuchte, sondern verwunderlicherweise auch eine trockene Asbesteinlage, hygroskopische, oder wie in der Literatur beschrieben wird, sogenannte semihygroskopische Wirkung. Als Hauptbefürworter der hygroskopischen Expansion heute, möchte ich DREYER-JÖRGENSEN (9) nennen. Heftig umstritten wird diese Methode von den

Autoren BEECK (2), FUSAYAMA (19), HEHRING (26), LINDERMANN (43), PHILLIPS (48) um nur einige zu nennen. Nach den Erfahrungen FUSAYAMAS (19) ist zu fordern, daß die Abbindeexpansion, die für die Genauigkeit des Gußobjekts abträglich ist, möglichst niedrig gehalten werden soll. Weitere Ungenauigkeiten der hygroskopischen Expansion ergeben sich nach den Untersuchungen von BEECK (2) in der nur unvollständigen Durchdringung der Einbettmasse mit dem zugegebenen Wasser.

Eine Methode mit hoher Expansion, wenn auch schlecht kontrollierbar, stellt die Schichtkerneinbettung dar; wichtig ist hier ein sorgfältige Vorgehen. Auf die dünnflüssig aufgebraachte Einbettmasse muß Pulver bis zu Sättigung aufgestreut werden um so eine optimale Verdichtung zu erreichen. Während in den älteren Literaturstellen häufig die Schichtkerneinbettung bevorzugt wird, JANKE (33), WIESINGER (71), ROHRBACH (53), KÖNSGEN (37) u.a. geht man in letzter Zeit immer mehr zur Vakuumeinbettung über. Diese bietet insbesondere große Vorteile in Bezug auf die Homogenität der Masse, die letztlich entscheidend ist, für eine gleichmäßige Expansion.

Nach BEECK (2) liefert die dichteste Einbettung und die Einbettung mit der geringsten Schwankungsbreite der Expansion, die Vakuummethode. Auch GRASSL (21) und HEHRING (26) stimmen darin überein, daß die Oberflächenqualität von Kronen die in Vakuum eingebettet wurden, besser ist.

In der Vakuumtechnik möchte ich nochmals unterscheiden zwischen direkter und indirekter Vakuummethode. Bei der direkten Vakuummethode steht die Muffel unter Vakuum auf einem Rüttler und die eingebrachte

Einbettmasse wird durch eine Gummimanschette am Überlaufen gehindert. Bei der indirekten Technik rührt man die Einbettmasse im Vakuum an und gießt die vorbehandelte Einbettmasse in die Muffel ein. In neuerer Zeit ist ein Verfahren auf dem Markt, das beide Methoden miteinander verbindet. Ein ähnliches Verfahren wurde bereits von HOLLENBACK (28) angegeben. Hierbei ist die Muffel mit dem Anrührgefäß luftdicht verbunden und der, unter Vakuum stehende, angerührte Einbettmassebrei kann im Vakuum in die Muffel eingegossen werden. Die Schwierigkeiten bei diesem System liegen in der absoluten Abdichtung des Gußkegelformers, der beim Einfüllen unter das Gußobjekt kommt und bei Undichtigkeiten ein Vorbeiziehen, bzw. Anhaften von Luftblasen an das Wachsmo-
dell gestattet. Der eigentliche Sinn des Vakuums geht damit natürlich verloren, oder wandelt sich sogar in das Gegenteil um.

Der Vollständigkeit halber sei noch die Verdichtung der Einbettmasse mittels Zentrifuge, oder mit Luftdruck erwähnt.

Auf die Erhöhung der Expansion, durch Erwärmen des Wachsmodells möchte ich nicht näher eingehen, da sie nach den Ausführungen von MAVES und LASATER (46), FUSAYAMA (19), NELKE (47) und vielen anderen Autoren durch die Unbeständigkeit des Wachses illusorisch ist.

Ausbrennen und Vorwärmen

Das Ausbrennen sollte nach KUBASCH (40) direkt nach dem Abbinden der Masse erfolgen, da der, in der Masse noch enthaltene Wassergehalt beim Verdampfen das Wachs besser austreiben kann. Allerdings ist nach DREYER-JÖRGENSEN (10) auf jeden Fall eine ausreichende Erhärtung der Einbettmasse abzuwarten, da es sonst zu Distorsionen in der Einbettmasse kommen könnte.

Die drei gebräuchlichsten Wachsaustreibungsverfahren,

1. das Ausbrennen des Wachses über den Bunsenbrenner,
2. das Ausbrennen des Wachses im Elektroofen,
3. das Auskochen des Wachses nach HOLLENBACK (28),

wurden von BEECK (2) in Hinsicht auf ihre Wirkung auf die Feingestalt der Gußoberfläche untersucht. Das Ergebnis war für alle drei Verfahren gleich. BEECK (2) zieht jedoch das Ausbrennen im Elektroofen, wegen seiner Einfachheit, den anderen Verfahren vor. Das Ausbrennen über den Bunsenbrenner ist deshalb abzulehnen, weil die Muffel ungleichmäßig erwärmt wird. Ergänzend möchte ich noch die chemische Lösung des Wachses und das Absaugen des erweichten Wachses mittels einer Pumpe, oder das Ausschleudern des Wachses erwähnen.

Beim Vorwärmen spielen zwei Faktoren eine Rolle. Nämlich einmal die Expansionskurve der Füllmasse, Quarz oder Cristobalit, oder eine Mischung von

beiden und zum zweiten die Temperatur die der Binder verträgt ohne Schaden zu leiden.

Wie wir aus Diagrammen der Expansionskurve von Quarz wissen, endet die thermische Expansion bei 600°C . Weitere Erwärmung liefert zwar keine wesentliche Ausdehnung mehr, doch es läßt sich dadurch erreichen, das die Hohlform während der Gußverzugszeit nicht so leicht in jenen kritischen Bereich kommt bei dem die Abkühlungskurve des Diagramms steil nach unten geht; in jenen Bereich also in dem, bei geringer Abkühlung, eine starke Kontraktion der Hohlform zu erwarten ist. Für Gipsfreie Einbettmassen auf Phosphatbasis, wird vom Hersteller eine Temperaturfestigkeit weit über 600°C angegeben. DREYER-JÖRGENSEN (10) empfiehlt eine Vorwärmung auf 700°C , was im Hinblick auf die oben erwähnten Faktoren, als unterer Grenzwert angesehen werden darf. Während HERAEUS für ihre Vakuum- Druckgußmethode sogar nur 600°C Erwärmung angibt, schlägt DEGUSSA eine Vorwärmtemperatur von 750°C vor. Der Kaltguß um 300°C , wie er von amerikanischen Autoren vorgeschlagen wird, verzichtet auf einen Großteil der thermischen Expansion der Quarzbestandteile.

Gußverzugszeit

Die Abkühlung der Muffel vom Herausnehmen aus dem Vorwärmofen an, bis zum Gußvorgang ist sehr vielen Einflüssen unterlegen, wie der Wärmeableitung über die Muffelzange, der Lufttemperatur und Luftbewegung im Raum und der Auflagefläche für die Muffel auf der Schleuder. Natürlich spielt auch die Ausgangstemperatur der Muffel eine Rolle, ebenso wie das Verhältnis der Oberfläche zu ihrem Volumen. Nicht umsonst zeigen die Angaben über die Abkühlung der Muffel, in dieser sogenannten Gußverzugszeit, so große Streuungen. Während FALK einen Temperaturabfall um 250°C bis 300°C angibt, liegen die Werte nach DREYER-JÖRGENSEN (10) bei 50°C pro Minute und er meint, man könne den Temperaturabfall während der Gußverzugszeit vernachlässigen. Nach RICE (nach ZÄHRINGER (72)) kühlt die Muffel aus dem Vorwärmofen von 750°C , 30°C im Zentrum und 50°C im Randbereich ab.

Leider sagen die genauen Messungen von WAGNER (nach ZÄHRINGER (72)), die er mit einer Remanitikuvette von 80 mm Durchmesser und 55 mm Höhe durchführte, nur wenig über die Wärmeabgabe der kleineren, auch in folgenden Versuchen verwendeten Kuvette Nr. 1 aus. WAGNER konnte bei seinen Messungen innerhalb einer Minute eine Abkühlung von 700°C auf 600°C feststellen. Demnach sind die Werte von DREYER-JÖRGENSEN sicherlich nicht ganz zutreffend, denn der Temperaturabfall kann in der kleineren Muffel nach physikalischen Gesetzen nur höher sein.

Gußapparat

Die heute am meisten verwendeten Gußverfahren sind der Schleuderguß und der Druck- bzw. Vakuumguß. Zwar stellte FUCHS (17) anhand von 10 Probegüssen keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf Lunker und Porositäten gegenüber anderen Verfahren, wie Hand- und Si-riusschleuder sowie mit dem Adler-Druckgußgerät fest, aber so ist doch kritisch zu bemerken, daß bei allen älteren Verfahren, bei denen das Gußgut direkt auf der Muffel geschmolzen wurde, eine ungleichmäßige Erwärmung der Muffel, und damit eine Dimensionsänderung der Hohlform auftrat. Weiterhin wurde in der Vergleichsreihe eine einheitliche Gußkanalstärke verwendet, die nicht den optimalen Bedingungen der Tiegelschleuder entsprach. Dem wurde in Zusatzversuchen Rechnung getragen und es ergab sich tatsächlich ein besseres Abschneiden der Tiegelschleuder gegenüber anderen Verfahren.

Unter den Geräten, bei denen das Metall außerhalb der Muffel geschmolzen und dann unter Druck in die Muffel eingebracht wird, sind der Vakuumguß, der Druckguß und die Tiegelschleuder zu nennen. Beim Vakuumguß, von PRZETAK und BÖLTE (49) empfohlen, wird die Hohlform evakuiert, das Metall auf den Gußtrichter gebracht und durch Öffnen des Luftventils soll der atmosphärische Luftdruck das Metall in die Hohlform einpressen. Es ist einleuchtend, daß bei

jedem mit gebräuchlichen Pumpen erzeugtem Vakuum noch eine Restmenge von Luft vorhanden ist. Diese Luft bleibt also auch in der Hohlform übrig, wenn das Metall eingeflossen ist. Dieser Faktor wird experimentell bestätigt, durch die Versuche von HOLLENBACK (28), der mit der Vakuummethode abgerundete Ränder und seiner Meinung nach fühlbar ungenaue Güsse bekam. Nach HOLLENBACK (28) ist der Druckguß das beste heute gebräuchliche Verfahren, da sich der Druck mit dem das Metall eingebracht werden soll, beliebig wählen läßt. SCHÖN (56) erhält mit dem von HERAEUS entwickelten Vakuum-Druckgußapparat, der beide Methoden vereint, ein gutes Gußgefüge und scharfe, gut ausgeflossene Ränder. Ein Vergleich in Bezug auf die Tiegelschleuder wurde von ihm nicht durchgeführt. Nachteil, bei dieser Vakuum-Druckgußtechnik, ist meiner Meinung nach, die lange Gußverzugszeit, die bis zur Evakuierung der Muffel benötigt wird. Die Mehrzahl der Autoren spricht sich heute für die elektrisch beheizte Tiegelschleuder aus. Ihre Vorteile sind nach ZÄHRINGER (72):

1. Das Metall wird nicht der offenen Flamme ausgesetzt, sondern indirekt in einem Kohlentiegel geschmolzen.
2. Dadurch wird die Überhitzung der Legierung weitgehend vermieden und

durch die Schutzgasatmosphäre aus Kohlenoxid wird eine Oxidation unterbunden.

3. Da das Metall unabhängig von der Gußform geschmolzen wird, kann die Muffel bis zur Beendigung des Schmelzvorgangs im Vorwärmofen bleiben; sie behält dadurch die gewünschte Vorwärmtemperatur und die Gußverzugszeit wird wesentlich verkürzt.
4. Da die Muffel beim Schleudervorgang horizontal liegt, können die Gußkanäle genügend weit gewählt werden, so daß auf die Anbringung eines verlorenen Kopfes verzichtet werden kann.
5. Bei richtiger Einhaltung der Forderung, daß die Schmelze immer von dickeren zu dünneren Gußpartien fließen soll, wird die Erstarrungsrichtung der Legierung, die entgegengesetzt verläuft, durch die Tiegelschleuder derart geregelt, daß der glühende Boden des Kohletiegels das Schmelzreservoir auch nach dem Guß noch eine zeitlang flüssig hält; das Gußstück kann daher Schmelze nachsaugen und lunkerfrei erstarren.

BEECK (2) sieht in der elektrisch beheizten Tiegelschleuder das zur Zeit beste Gußgerät. Ein Vergleich, den er mit dem Luftdruckverfahren anstellte, zeigte zwar ein besseres Ausfließen beim Luftdruckverfahren, doch verlor sich dieser Vor-

teil bei der Untersuchung der Gußgefüge. Das Gußgefüge bei der Druckgußmethode wies im Vergleich zu dem mit der Tiegelschleuder erzielten, erheblich mehr Poren und Verunreinigungen auf.

Behandlung nach dem Guß

VOSS (64) hat sich eingehend mit der gerichteten Erstarrung und damit der Lunker und Porenbildung einerseits, der Kristallgefügebildung andererseits, auseinandergesetzt. Er teilt, wie auch viele andere Autoren, die Gesamtkontraktion der Schmelze ein in:

Flüssigkontraktion
Erstarrungskontraktion und
Festkörperkontraktion.

Die Flüssigkontraktion bei der Abkühlung von der Temperatur der Schmelze bis zur Liquidustemperatur ist für die zahnärztliche Gußtechnik seiner Meinung nach nicht von Bedeutung. Erst vom Augenblick des Auftretens erster Kristallkeime bis zur völligen Erstarrung der Schmelze kommt es zur stärkeren Schwindung, die nur noch begrenzt durch Nachlaufen ausgeglichen wird. Faktoren die für die Aufteilung des Defizits verantwortlich sind, sind nach ENGLER (14)

1. Richtung und Größe des Wärmeflusses
2. Erstarrungstyp der Legierung
3. Geometrische Form des Gußkörpers.

Ist die Schmelze erstarrt, so können nach WAGNER (66) durch eine unsachgemäße zu rasche Abkühlung die einzelnen Partien des Gußstücks verschieden

schrumpfen und es kommt damit zu einer Verzerrung der Gußform.

Die langsame Abkühlung des Gußstückes bis auf die Raumtemperatur ist daher, um Verformungen und Verzerrungen zu vermeiden, insbesondere bei umfangreichen Güssen sehr wichtig. WAGNER (66) schreibt weiter, daß bei aushärtbaren Legierungen damit zugleich eine ausreichende Aushärtung erreicht wird.

Nach ROHRBACH (53), der eine Verformung des Gußobjekts beim Abschrecken, experimentell belegt hat, genügt es, kleinere Muffeln an der Luft auszukühlen, bei größeren Muffeln schlägt er vor, sie in Einbettmassepulver zu legen.

Derzeitige Prüfverfahren

Nach WEIKART (68) geschieht die Prüfung der Gußgenauigkeit in der zahnärztlichen Praxis rein subjektiv. Man stellt fest, ob sich die Gußfüllung leicht oder schwer in die Kavität einfügen läßt und man sagt, sie paßt, wenn zwischen Füllung und Zahn kein Spalt zu erkennen ist. LENZ (42) verfeinerte diese Methode dadurch, das er abgewinkelte Sonden zur Überprüfung des Randspalts von Kronen zu Hilfe nahm. Aber von Messen kann nach WEIKART auch bei dieser Methode nicht die Rede sein. Etwas objektiver und vor allem meßbar sind die Methoden bei denen ein Stumpf von definiertem Konuswinkel gedreht und nach Aufsetzen der Gußkronen der Randspalt vermessen wurde; CUSTER und DE SALVO (3), FUSAYAMA (19), DREYER-JÖRGENSEN (10), LINDERMAN (43), KASLOFF (36), ZÄHRINGER (72) u.a. bedienten sich dieser Methode. Durch trigonometrische Umrechnung läßt sich bei Messung der Höhendifferenz etwas über die Abnahme der Durchmesser aussagen. Allerdings läßt sich nur dann etwas messen, wenn die Kronen zu klein sind, und auch dann läßt sich nur etwas über die kleinste Stelle aussagen auf der die Krone aufsitzt.

Eine Erweiterung der Methode, erreicht WEIKART (68) dadurch, daß er einen langen Konus mit Meßskala verwendet und auf diese GußBringe aufschiebt. Auf diese Weise lassen sich allerdings mit gleichem Nachteil, wie oben erwähnt, auch Ringe mit Über-

komensation vermessen. Dieses Verfahren wurde in ähnlicher Weise schon 1935 von HARNDT angewandt.

Methoden, die die Abbindeexpansion direkt erfassen, sei es durch volummetrische Bestimmung (SCHUBERT und KLOHE (57) und REHBERG (52)) oder durch Aufsetzen eines Dilatometers, wie es durch DREYER-JÖRGENSEN (10) empfohlen wurde, sind deshalb nicht ohne weiteres für die zahnärztliche Gußtechnik brauchbar, weil der von DREYER-JÖRGENSEN (10) andererseits beschriebene Expansionsdruck unterschiedlich auf die Wachsform auswirkt und eine Verformung, abhängig vom Widerstand, der eingebetteten Form ist.

Als optische Methode werden Verfahren verschiedenster Art angeführt, so z.B. das Fotografieren von Wachsformen und der anschließende Vergleich mit der fertigen Gußform. Es läßt sich hierbei zwar etwas aussagen über das Formverhalten als solches, jedoch ist kein Größenvergleich möglich, da der Abstand des Objekts von der Kamera nicht genau festzulegen ist.

Verfahren, die die Relation Stumpf zu fertiger Krone erfassen, lassen eine Lokalisation der Spaltbreiten zu und geben zugleich ein exaktes Bild über die Größenverhältnisse.

KRAFT und PETERS (39) stellten Messungen über die Stärke einer Abdruckmasse an, die zwischen Stumpf und Krone eingebracht wurde. WINDECKER und OHLE (70) legten Schiffe durch einen Stumpf mit aufzementierter Krone und konnten so die

Spaltbreiten unter dem Mikroskop vermessen.

Das von ILG (31) erstmals angegebene Verfahren, mit dem Innendurchmesser, durch optische Schnitte, direkt unter dem Mikroskop gemessen und verglichen werden konnten, beruht auf der geringen Tiefenschärfe bei starker Vergrößerung. Die Methode wurde auch von EBERSBACH und GEHRE (11), REITHER (50) und STEGMEYER (61) aufgegriffen. REITHER (50) verbesserte die Methode durch Anbringen von, bis auf μ ablesbare Meßuhren und durch einen um die optische Achse drehbaren Objektivtisch. Nach Meinung des Autors ist dieses Verfahren an Genauigkeit bislang unerreicht. Unter Berücksichtigung der möglichen Fehler bei der Vertikalvermessung hat REITHER (50) eine maximale Durchmesseränderung von 4μ errechnet. Werte, die unterhalb dieser Grenze liegen, haben demnach keine Aussagekraft. Im Einzelnen möchte ich auf die Berechnungen von REITHER (50) hinweisen.

III. Experimenteller Teil

1. Probekörper und Versuchsablauf

Wir haben aus der großen Reihe der indirekten Technik, Zahnstumpf, Abdruck, Modell, Wachs-körper, Einbettmassehohlform und Gußkörper be-wußt nur einen Teil, nämlich den Teil Wachs-körper bis Gußkörper, herausgenommen um die manuelle Geschicklichkeit bei der Herstellung des Wachsmodells nach einem Normstumpf, ganz auszuschalten und um auch die instabile Wachs-form so wenig wie möglich mit ins Spiel zu bringen.

Ausgangsform für unsere Untersuchungen war al-so direkt die Wachskrone, bzw. vier gedrehte Messinghütchen nach denen uns im Wachsspritz-gußverfahren von der Fa. DEGUSSA freundlicher-weise Modelle in Wachs angefertigt wurden (Abb. 2).

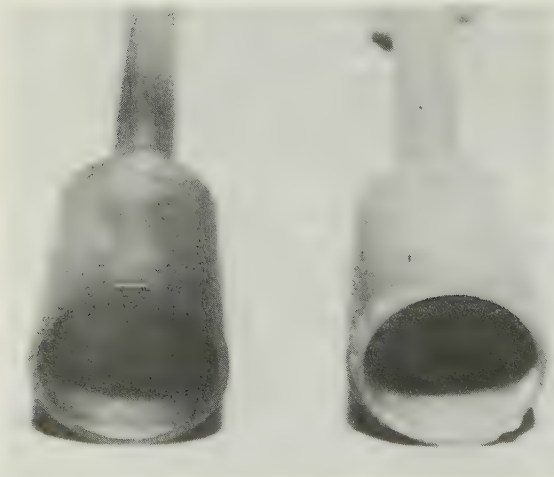


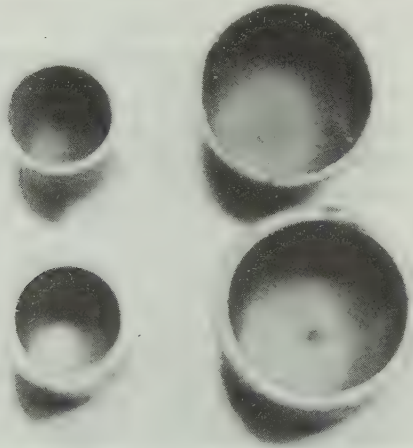
Abb. 2

Gegenüberstel-lung von gedreh-tem Ausgangskör-per und im Wachs-spritzgußverfah-ren hergestelltem Wachshütchen

Die Urformen teilten sich auf, in zwei Körper von etwa 1 cm Durchmesser, die die extreme Grösse für Molarenkronen darstellen sollten und zwei Hütchen mit 5 mm Durchmesser. Jede Grösse wurde einmal mit 1/2 mm Wandstärke und einmal mit 1 mm Wandstärke angefertigt. Der Konuswinkel war bei allen Körpern gleich, nämlich 3 Grad (Abb. 3).

Abb. 3

Die vier Ausgangsgrößen in Spritzwachs hergestellt



Ein Vorteil für die Meßmethode besteht darin, daß bei diesem Winkel die Meßlinien bei dem angewandten Verfahren schärfer sind als bei einem flachen Winkel.

Die relativ glatten Wachskörper hatten an der Randfläche, gemeint ist damit der 1/2 mm, bzw. 1 mm breite Ring, der sich aus der Stärke der Kronenwandung im Randbereich ergibt, durch das

Herstellungsverfahren kleine Unregelmäßigkeiten. Durch vorsichtiges Reiben auf einer Mattglasscheibe wurde der Rand plan gehobelt, und durch anschließende Behandlung mit einem scharfen Le Cron die Späne abgetragen. Ferner wurden zur genauen Justierung vor und nach dem Guß an zwei gegenüberliegenden Rändern feine Kerben angebracht und daraufhin die Hütchen zum Entspannen über die Nacht in ein Wasserbad von 38°C gelegt. Gut abgekühlt und mit einem Luftbläser getrocknet, kamen die Wachskörper mit der Öffnung nach oben durch Knetmasse fixiert, auf einem Dreifuß (Abb. 4). Die drei Beine waren Schraubgewinde und konnten so beliebig in der Höhe verstellt werden.

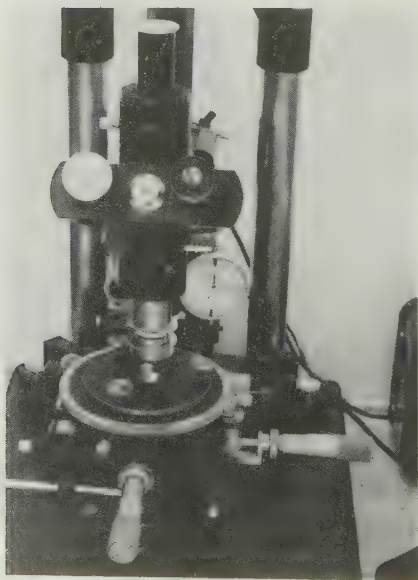


Abb. 4

Verwendetes Meß-
mikroskop mit Prüf-
körper in situ

Unter das Mikroskop gebracht, wurde nun eine Stelle der Randfläche scharf eingestellt und durch Drehen an den Dreifußbeinen, bei gleicher Schärfeneinstellung des Mikroskops, die gesamte Randfläche in den Schärfenbereich gebracht. Anschließend wurde die Kerbe im Rand mit dem Fadenkreuz des Okulars in Deckung gebracht und durch Parallel-Verschiebung mit der gegenüberliegenden Kerbe kontrolliert (Abb. 5). Waren diese Bedingungen einwandfrei erfüllt, so konnte die Fixierung des Körpers unter dem Mikroskop als eindeutig gelten.

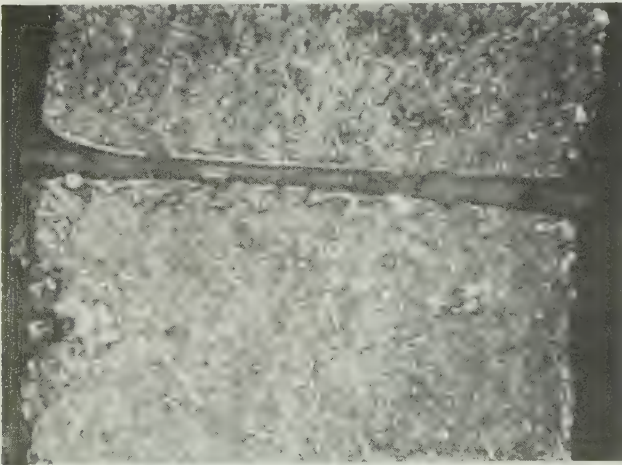


Abb. 5

Kerbe eines gegossenen Körpers unter dem Auflichtmikroskop (230-fache Vergrößerung)

Durch Verschiebung des Objektivtisches wurde das Fadenkreuz tangential an den Außenrand der Krone angelegt und der Wert an der Mikrometerschraube abgelesen. Darauf wurde mittels Mikrometerschraube das Objekt so weit in einer Linie verschoben, daß der gegenüberliegende Rand in tangentielle Berührung mit dem Fadenkreuz kam (Abb. 6).

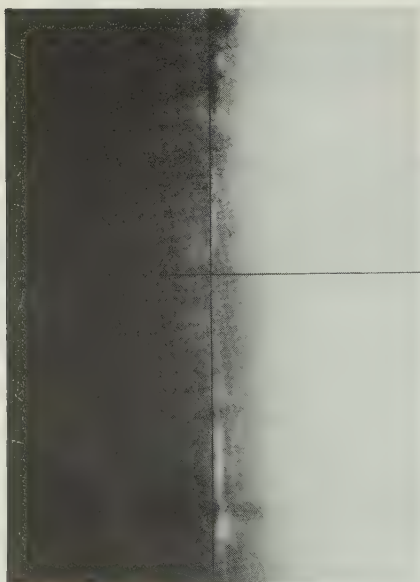


Abb. 6

Meßlinie, die sich durch optischen Schnitt ergibt, im Fadenkreuz (230-fache Vergrößerung)

Die Differenz zwischen beiden Werten stellte einen Durchmesser dar. Genauso wurde mit dem Innenrand verfahren. Die weiteren Durchmesser ergaben sich durch Drehung des Objektivtisches und durch optischen Schnitt in 10 Ebenen. Als Tiefenschärfe für den optischen Schnitt gibt REITHER $\pm 2\mu$ an.

Bei Körpern mit Meßebenen in einem Abstand

von je 1 mm ergaben sich also 10 Gruppen mit je 8 Meßpunkten (Abb. 7 u. 8). Insgesamt wurden über 10.000 Werte festgehalten.

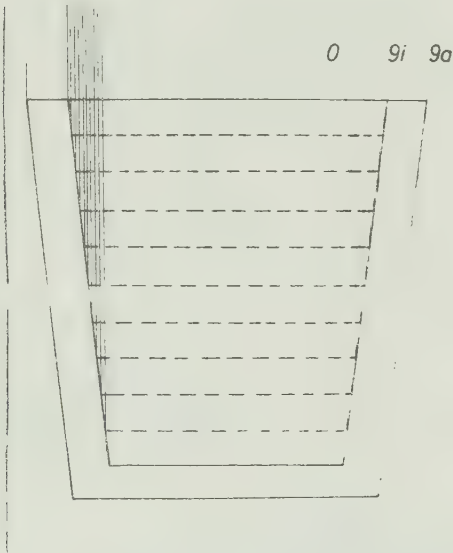


Abb. 7

Meßstellen eines kleinen
Körpers mit 1 mm Wandstär-
ke in Seitansicht

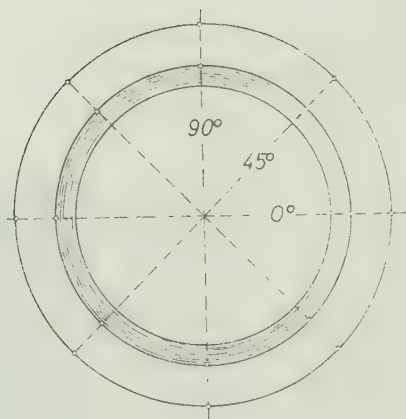


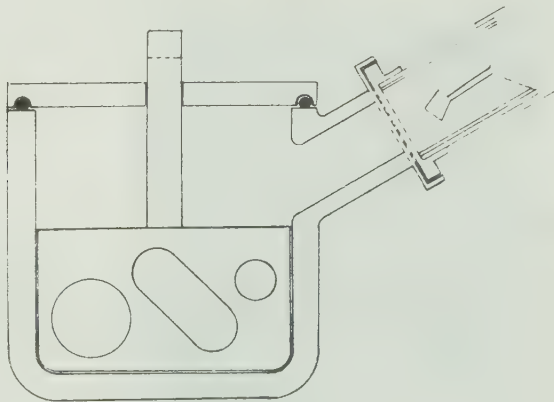
Abb. 8

Sämtliche Meßpunkte der Ebene 9 sind durch Nullkreise markiert. Die Ebenen die sich durch optische Schnitte ergeben sind durch strichlierte Linien und durch konzentrische Kreise markiert.

Direkt nach jeder Vermessung wurden die Körper mit Gußkanälen versehen und eingebettet. Die verwendeten Normmuffeln Nr. 1 von DEGUSSA waren mit einer Lage angefeuchtetem Asbest von 0,7 mm Stärke ausgekleidet. Dabei wurde der Asbeststreifen fugenlos eingelegt, eventuelle Lücken wurden ausgewachst. Anschließend wurde die Muffel mit dem Asbeststreifen in Wasser getaucht und 1 Minute auf trockenes Asbest gestellt. Nach Kontrolle der Pulvermenge mit einer Balkenwaage und Abmessen der Flüssigkeitsmenge unter Zuhilfenahme eines Glaszylinders (die beigegebenen Kunststoffmeßzylinder sind für genaue Messungen unbrauchbar) konnten die beiden Komponenten der Einbettmasse zusammengegeben werden. Gemäß der ADA Spezifikation wurde die Masse 20 Sekunden vorgespaltet und anschließend 1 Minute unter Vakuum mechanisch gerührt. Die Verwendung des Multivac II ließ ein Einbringen in die Muffel unter bestehendem Vakuum zu (Abb. 9).

Abb. 9

Schematische
Zeichnung des
Vakuumanrühr-
gefäßes mit
Gußmuffel und
Gußobjekt



Nach 30 Minuten Aushärten kam die Muffel für 45 Minuten in den Ausbrennofen mit 250°C , anschließend wurde sie 30 Minuten bei 750°C im Zentrum des Ofens vorgewärmt. Die Güsse führten wir mit der DEGUSSA-Tiegelschleuder durch. Das verwendete Gold war DEGULOR M, auf dessen Schrumpfung, die mit 1.6%lin. angegeben wird, die Einbettmasse DEGUVEST HFG mit 75%-iger Verdünnung eingestellt ist (Abb. 10).

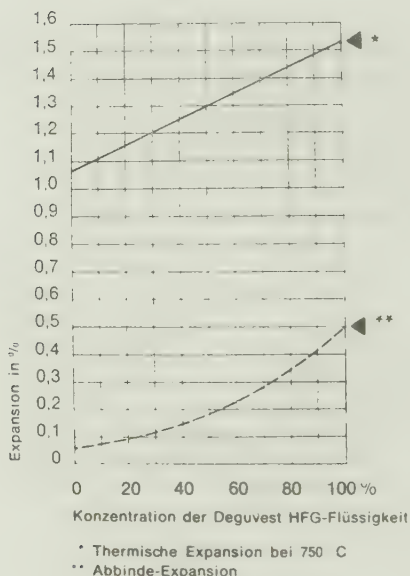


Abb. 10

Abhängigkeit der Gesamt- bzw. Einzelexpansion von der Flüssigkeitskonzentration (Aus der Gebrauchsanleitung von DEGUVEST)

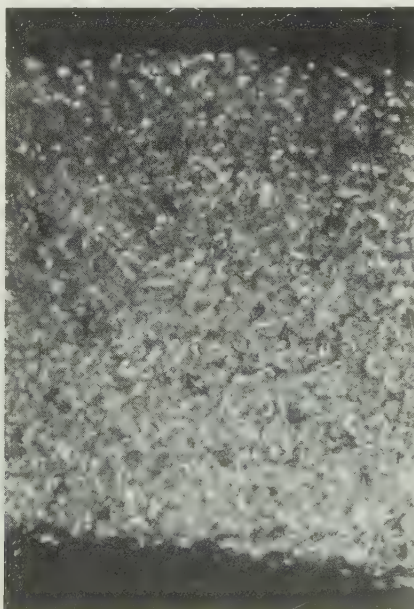
Abb. 1

Erst wenn die Muffel vollständig ausgekühlt war, was zur Erzielung gerichteter Erstarrung auf einer

Hartgummiunterlage erfolgte, wurde das Gußobjekt vorsichtig ausgebettet. Die harte Einbettmasse bereitete einige Schwierigkeiten, sie ließ sich nur durch vorsichtiges Ausbohren mit dem Löffelende eines Le Cron und durch anschließendes Absprengen der zwischen Bohrloch und Innenwandung der Krone entstandenen Einbettmassewand, ohne Beschädigung der Krone entfernen. Wie einige Stichproben ergaben, eignete sich das Abstrahlen mit einem Minipolgerät nicht für diese Untersuchungen (Abb. 11). Der Verlust im direkten Randbereich betrug bis zu 20, außerdem waren die Kanten rund und die Kerbe verschwunden. Die einzige Nachbehandlung der Gußkörper bestand daher im Absäuern mit einer 10%-igen Schwefelsäure. So behandelt kamen die Kronen nach dem oben beschriebenen Verfahren wieder unter das Mikroskop.

Abb. 11

Mit Minipolgerät
abgestrahlte Rand-
fläche
(230-fach Vergrößert)



2. Vorversuche und Ergebnisse

In den Vorversuchen sollten die 4 Arten der Kronen miteinander verglichen, bzw. ihre Tauglichkeit für die mikroskopischen Untersuchungen festgestellt werden. Jeder Körper wurde nur in vier Ebenen, nämlich am Innenrand, daraufhin im Abstand von je 3 mm zum Boden hin vermessen. In jeder Ebene wurde wie bei allen Versuchen das Mittel von 4 Durchmessern, die im Winkel von 45 Grad zueinander standen, genommen. Die Mittelwerte wurden in prozentuale Abweichungen umgerechnet. Aus technischen Gründen konnte nur der mit 10^4 multiplizierte Wert abgedruckt werden.

DEGUVEST 75% groß 1/2 mm; 2 Lagen Asbest

Höhe	91	6	3	0 mm
Körper Nr. 1	935	883	1104	743
2	1382	1270	917	874
3	1072	972	906	800
4	1143	1105	1003	1101

Mittelwerte	1133	1057	983	879
Standardabweichungen der Mittelwerte	93	84	45	78

Die durchschnittliche Überkompensation betrug 1.012%lin.

DEGUVEST 75% groß 1 mm; 2 Lagen Asbest

Höhe	91	6	3	0 mm
Körper Nr. 1	1118	1237	1210	955
2	1042	1050	971	906
3	1226	1180	1230	1020
4	1360	1175	971	725

Mittelwerte	1187	1101	1096	902
Standardabweichungen der Mittelwerte	69	39	72	63

Die durchschnittliche Überkompensation betrug 1.087%lin.

DEGUVEST 75% klein 1/2 mm; 2 Lagen Asbest

Höhe	9i	6	3	o mm
Körper Nr. 1	948	900	1105	725
2	749	980	856	415
3	1458	1217	1441	687
4	1241	1412	1203	537
5	1300	1233	1260	1236

Mittelwerte	1139	1148	1173	720
Standardabweichungen der Mittelwerte	128	93	96	140

Die durchschnittliche Expansion betrug $1045.2 \times 10^{-3}\%$ lin. mehr, als die Goldkontraktion ausmachte; also 1.045% Überkompensation.

DEGUVEST 75% klein 1 mm; 2 Lagen Asbest

Höhe	9i	6	3	o mm
Körper Nr. 1	969	1514	1325	871
2	1337	963	1093	906
3	1245	1170	1228	947
4	1135	976	1118	826

Mittelwerte	1171	1088	1191	888
Standardabweichungen der Mittelwerte	79	172	53	26

Die durchschnittliche Überkompensation betrug 1.084%

Bei den Versuchen mit Muffeln die mit zwei Lagen feuchtem Asbest ausgekleidet waren, ergaben sich bei einer DEGUVEST-Charge mit relativ hoher Überkompensation, Werte um 1.1% in den Randbereichen der Probekörper. Bei einer Krone von 1 cm Durchmesser macht das immerhin eine Spaltbreite von 110 μ aus. Die Schwankungen innerhalb der einzelnen Körper waren beträchtlich und auch die Körper untereinander verglichen, hatten trotz strenger Einhaltung der Versuchsbedingungen unterschiedliche Werte; generell läßt sich jedoch sagen, daß keiner der Körper an irgendeiner Stelle zu klein war (Abb. 12 u. 13).

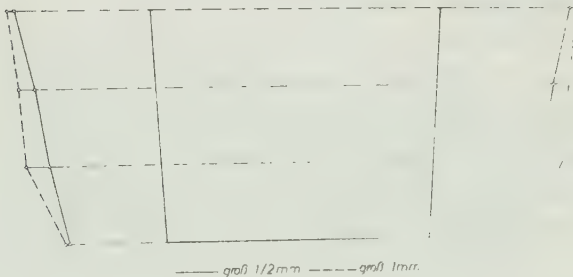


Abb. 12

Die beiden Serien groß 1/2 mm und groß 1 mm. Zur Verdeutlichung wurde die Überkompensation 100-fach vergrößert eingezeichnet.

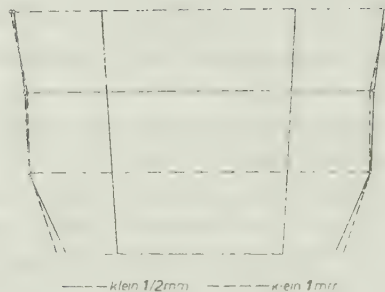


Abb. 13

Expansionen der Körper klein $1/2$ mm
und klein 1 mm, Differenzen zwischen
Ausgangskörper und Gußkörper 100-fach
Vergrößert

Die Serie groß 1 mm zeigt als einzige eine nahezu lineare Abnahme der Expansion vom Rand zum Kronendeckel. Alle übrigen Reihen scheinen eine wesentlich kleinere Expansion im versteiften Deckelbereich gegenüber der übrigen Kronenwand zu haben.

Zum Abdichten der Muffel gegenüber dem Vakuumandrührgefäß wurden anfänglich ältere Gummidichtungen verwendet, die den Asbeststreifen ca. 3 mm vom Rand wegschoben. Wenn man nun nach dem Einfüllen der Einbettmasse den Gummiring entfernte, waren die oberen 3 mm der Muffel nicht mit Asbest ausgekleidet (Abb. 14).

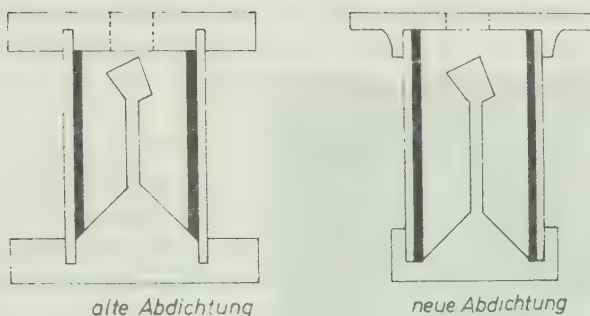


Abb. 14

Zeigt die unvollständige Asbestausklei-
dung beim alten Abdichtungssatz des Mul-
tivacsystems

Dieser Randstreifen, an dem nun die Einbettmasse direkt an der Muffel anlag, genügte um eine Expansionsveränderung in den Bereichen des Prüfkörpers, die dem Rand am nächsten waren, zu erzeugen. Daher wurde in der Folge der Rand der Einbettmasse, der an der Gußmuffel anstand, freigelegt, um eine ungehinderte Expansion zu erreichen. Bei späteren Versuchen stand der neue Dichtungsring zur Verfügung und es erübrigte sich diese Maßnahme. Die Körper flossen gut aus, und es zeigte sich im großen und ganzen eine glatte Oberfläche, nur die Tücken des Vakuum-einbettverfahrens mit dem Multivacgerät machten sich dann bemerkbar, wenn an der Verbindung zwischen Gußtrichterformer und Metallmuffel eine undichte Stelle war, die ein Eindringen der Luft ermöglichte. Diese staute sich dann in kleinen Blasen, insbesondere an der Unterseite

oder an den schräg nach oben steigenden Wänden des Gußkörpers (Abb. 15).



Abb. 15

Gegossener Körper mit Gußperlen an den schräg nach oben steigenden Wänden des Gußkörpers

Dagegen half auch die Behandlung mit Netzmitteln nichts. Verstärkt wurde dieser Effekt, wenn zudem das Vakuum etwas zu lange einwirkte oder wenn zu vorsichtig eingefüllt wurde und die Masse dabei schon etwas anzog. Hierbei konnte es passieren, daß nicht nur kleine Blasen an der Außenseite der Krone auftraten, sondern daß auch im Inneren der Krone Gußperlen anhafteten. Diese fand man insbesondere in Ecken, wo sie bei entsprechender Grösse auch erst im Mikroskop auffällig wurden.

Abschließend soll noch etwas über das Messverfahren gesagt werden.

Da die Oberflächenrauigkeit übereinstimmend mit BEECK (2) bereits 3 bis 4μ ausmachte und hiermit zusammen mit der Tiefenschärfe des Mikroskops jede Einstellung einen Bereich von $\pm 5\mu$ zuließ, verzichtete ich auf die von REITHER (46) beschriebenen Meßuhren, mit einer Genauigkeit von μ und verwendete die montierte Mikrometerschraube die auf 10 sogar 5μ sehr genaue Werte liefert, da bei ihr, das von REITHER (46) erwähnte mechanische Spiel praktisch wegfällt. Mit anderen Worten sämtliche Werte wurden auf 5μ genau gemessen.

Ferner ergab sich aus diesen Versuchen, daß die Vermessung in nur 4 Ebenen unzureichend ist für eine nähere Aussage über die Dimensionsänderung der Gußkörper. Es wurde daher die in der Versuchsanordnung bereits beschriebene Abmessung im Abstand von je 1 mm durchgeführt.

- 50 -

Zur Überprüfung der Aussagekraft der angewandten Meßmethode, hinsichtlich der absoluten und auch relativen Expansion, wurde eine Vergleichsreihe mit KERR-Cristobalite der selben Prüfung unterzogen. Das Mischungsverhältnis richtete sich nach der Firmenangabe, nämlich 40 ccm Wasser zu 100 g Pulver. Es kam Leitungswasser von Zimmertemperatur zur Verwendung. Angerührt und eingebettet wurde nach dem oben beschriebenen Ablauf mit dem Multivacgerät.

KERR-Cristobalite klein 1 mm; 1 Lage Asbest 0.7 mm

Höhe	9i	8	7	6	5	4	3	2	1
Nr.									
1	-216	-111	-268	-311	-357	-282	-450	-500	-500
2	-372	-567	-140	-127	-388	-375	-461	-414	-538
3	-648	-242	-166	-423	-312	-363	-344	-453	-437
4	-773	-130	-207	-114	-097	-058	-140	-136	-249
5	-533	-074	-131	-305	-192	-211	-237	-282	-354
6	-660	-125	-226	-172	-136	-592	-601	-162	-190
7	-685	-167	-094	-210	-195	-117	-040	-027	-163
Mw.	-549	-197	-154	-231	-233	-296	-300	-275	-348
Staa.	77	65	19	41	40	69	71	65	57

Wie die Tabelle zeigt, waren sämtliche Mittelwerte negativ, obwohl einzelne Werte in den Ebenen ein positives Vorzeichen hatten. Es blieb also, über sämtliche Werte gemittelt, die erwartete Restkontraktion, die zudem mit den sonst in der Literatur angegebenen Restkontraktionen gut übereinstimmt.

Die Einziehung im Randbereich sind Artefakte, die sich dadurch ergeben, daß die relativ schwache Einbettmasse durch den Wachsdruck beim Ausbrennen in diesem Bezirk Risse bekommt, die sich dann als Fahnen bei der Vermessung des Körpers bemerkbar machen (Abb. 16 u. 17).

Abb. 16

Restkontraktion der Serie C.
Veränderungen gegenüber dem
Ausgangskörper in 100-facher
Vergrößerung

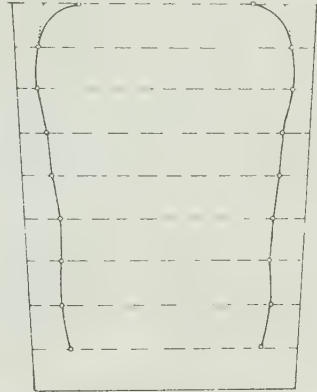
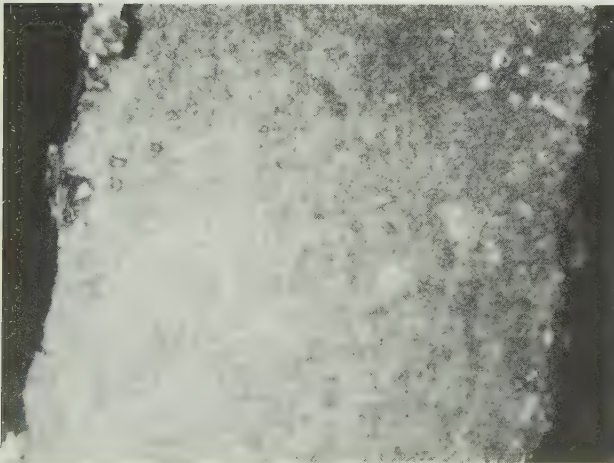


Abb. 17

Fahnenbildung im Rand-
bereich. (230-fache Ver-
größerung)



3. Hauptversuche

In den Serien A und B wurde ein Vergleich zwischen gleichdimensionierten Körpern, mit verschiedenen Wandstärken angestrebt. Um möglichst gleiche Untersuchungsbedingungen zu haben, wurde eine neue Charge Einbettmasse verwendet. Zugleich war die Verdünnung der Flüssigkeit auf 60% reduziert, um die bei 75%-iger Verdünnung festgestellte starke Überkompensation niedriger zu halten. Ferner ergaben Zusatzversuche, daß eine Lage Asbest für die Expansion ausreichte. Für jede Versuchsreihe waren insgesamt 15 Körper vorgesehen, wovon bei der Serie A vier und bei der Serie B fünf verworfen wurden, weil sie nicht unter optimalen Bedingungen eingebettet, vorgewärmt oder gegossen werden konnten.

Auf einen Vergleich mit den beiden größeren Kronenformen wurde verzichtet, da diese nach den Vorversuchen keine wesentlichen Unterschiede zu den kleineren Kronen zeigten. Ausserdem ließen sich die größeren Durchmesser in dem verwendeten Meßmikroskop schlecht vermessen.

SERIE A

DEGUVEST 60% klein 1/2mm; 1Lage Asbest

Höhe Nr.	9a	9i	8	7	6	5	4	3	2	1
1	466	877	617	500	762	794	785	798	679	690
2	400	480	612	469	535	464	571	442	471	437
3	520	n.m.	738	780	837	675	709	796	732	431
4	371	623	568	714	744	572	610	540	593	603
5	722	936	966	829	785	872	768	943	820	788
6	886	776	687	848	821	697	667	742	717	691
7	769	721	662	599	513	733	709	702	572	n.m.
8	704	599	718	448	603	829	766	580	488	393
9	567	882	668	732	875	929	964	804	738	961
10	463	702	535	500	406	516	496	381	389	449
11	597	657	332	522	836	598	530	559	447	497

Mw.	588	725	646	631	702	698	688	715	604	594
Staa. 50	46	47	46	48	45	41	38	43	59	

Die durchschnittliche Expansion betrug: 659.2

SERIE B

DEGUVEST 60% klein 1mm; 1Lage Asbest

Höhe Nr.	9a	9i	8	7	6	5	4	3	2	1
1	459	289	544	413	324	406	498	519	458	286
2	415	495	406	263	440	466	551	538	405	315
3	692	555	907	526	811	871	924	978	910	782
4	445	196	479	449	590	465	366	429	404	244
5	320	251	257	487	476	367	490	478	526	429
6	432	344	501	663	497	542	530	659	425	511
7	579	347	372	339	363	467	447	294	731	391
8	318	507	261	322	212	234	337	381	354	309
9	338	411	498	321	537	291	315	345	284	n.m.
10	n.m.	216	299	189	286	426	512	480	405	342

Mw.	444	361	452	397	454	454	497	510	490	401
Staa. 41	40	60	44	54	55	54	62	60	55	

Die durchschnittliche Expansion betrug: 446.9

a) Ergebnisse

Die Charge, die für die Versuchsreihe A und B gewählt wurde, zeigte, wie auch allen übrigen für die weiteren Versuche verwendeten Chargen, eine geringere Expansion; jedoch eine generelle Überkompensation. Schwankungen waren zwar, ebenso wie in den Vorversuchen, vorhanden, doch bewegten sie sich in engeren Grenzen. Die, bei sehr stark expandierenden Einbettmassecharge festgestellte Abnahme der Expansion vom Kronenrand zum Kronendeckel, zeigte sich auch bei diesen Versuchen, wenn auch nicht so deutlich (Abb. 18 u. 19).

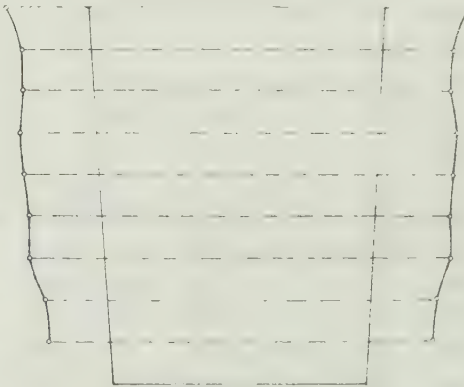
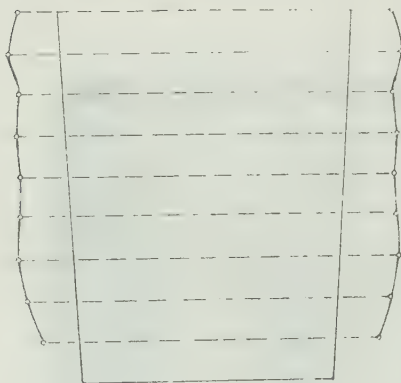


Abb. 18

Darstellung der Überkompensation der Serie A. Die Wachskrone ist durchgezeichnet, die Abweichung der Gußkrone in den gemessenen Ebenen ist 100-fach überzeichnet.

Abb. 19

Darstellung der Serie B. Die Einziehung am Kronenrand ist durch Sprünge der Einbettmasse bedingt. Diese traten trotz fester Einbettmasse durch Wachsrückstau, des 1 mm starken Wachskörpers, beim Ausbrennen auf.



Die Werte 9a und 9i sind die unmittelbaren Aus- bzw. Innenränder, daher können sie, sowohl durch Fahnenbildung beim Einreißen der Einbettmasse, als auch durch Beschädigung beim Ausbrennen, selbst bei sehr vorsichtigem Vorgehen, leicht verfälscht werden. Die Kronen mit 1 mm Durchmesser zeigen in der Mittelung eine geringere Expansion als die Kronen mit $1/2$ mm Durchmesser. Dieser Unterschied ist über sämtliche Einzelwerte gemittelt, signifikant.

Als Nebenerscheinung möchte ich noch erwähnen, daß die von HENNING in einem Vortrag an der Münchner Klinik vorgeschlagene Entlüftung, direkt am Gußkanal, in Bezug auf Lunkerbildung, eher eine Verschlechterung als eine Verbesserung brachte. Die Luft wurde offensichtlich nach dem Bunsenschen Prinzip förmlich angesaugt (Abb. 20).



Abb. 20

Zeigt Lufteinschlüsse bei Verwendung eines am Gußkanal angebrachten Entlüftungskanals.

Die folgenden Serien D und E dienten zur Überprüfung von zwei weiteren im Handel befindlichen Chargen.

Serie D

DEGUVEST 75% klein 1/2 mm, 1 Lage Asbest 0.7 mm

[illegible]

Serie E

DEGUVEST 75% klein 1/2 mm; 1 Lage Asbest 0.7 mm

Höhe Nr.	9a	9i	8	7	6	5	4	3	2	1
1	398	492	557	774	613	584	613	643	778	673
2	624	548	345	523	649	545	533	444	448	412
3	561	562	300	547	630	365	513	544	282	350
4	545	473	520	585	306	408	376	362	184	211
5	827	572	486	627	700	681	459	609	496	295
6	614	706	446	402	448	440	281	443	513	250
7	803	1100	780	558	690	761	815	785	741	386
Mw.	625	636	491	574	577	541	440	547	492	368
Staa.	57	82	60	43	55	56	98	55	82	58

durchschnittliche Expansion: 528.9

Auch diese Versuchsreihen zeigten eine Abnahme der Expansion vom Kronenrand zum Kronendeckel (Abb. 21 u. 22). Die Ausbauchungen bzw. Einziehungen, liegen im Bereich der Streuung. Was die beiden verschiedenen Chargen betrifft, so sind diese Werte wesentlich günstiger, als bei der Charge, die für die Vorversuche verwendet wurde. Die Herstellerfirma hat der unterschiedlichen Expansion der einzelnen Chargen inzwischen Rechnung getragen und die Flüssigkeit auf das jeweilige Pulver abgestimmt. Die Unterschiede der durchschnittlichen Expansionen halten sich daher in Grenzen.

Dennoch ließe sich generell auch in Hinblick auf einen vorprogrammierten Zementspalt, wie ihn zum Beispiel SCHWINDLING und VOSS einplanen, gerade bei Kronen, die größer als $1/2$ cm im Durchmesser sind, eine niedrigere Expansion fordern.

Abb. 21

Darstellung der Überkompensation der Serie D.
Die Abweichungen sind 100-fach überzeichnet.

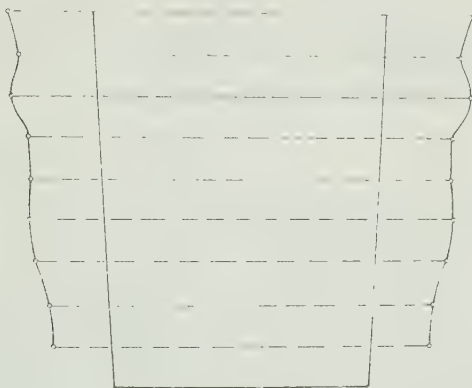
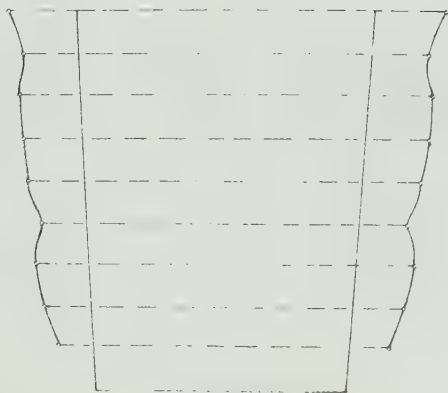


Abb. 22

Darstellung der Serie E.



- 60 -

Die folgenden 4 Prüfkörper wurden im Versuchslabor der Fa. DEGUSSA in Pforzheim von einem Techniker gegossen. Die Bedingungen in Bezug auf Anrühren der Einbettmasse, Ausbrennen und Vorwärmen waren gleich. Es wurde jedoch eine neu eingetroffene und noch nicht geprüfte Charge von DEGUVEST-Pulver mit einer beliebigen Flüssigkeit angerührt.

Bei der Fa. DEGUSSA von einem Techniker gegossene Körper.

DEGUVEST 75% klein 1/2 mm; 1 Lage Asbest 0.7 mm

Höhe	9a	9i	8	7	6	5	4	3	2	1
1	108	310	222	100	076	058	177	120	163	25
2	450	073	315	132	285	174	295	120	143	062
3	310	128	237	130	094	132	098	280	142	103
4	n.m.	-316	-273	-297	-209	-174	-098	-080	-163	-104
Mw.	289	49	125	16	62	48	118	150	71	78
Staa.	99	132	134	104	102	78	83	44	78	73

Die Ergebnisse sprechen für sich. Durchwegs ist die Expansion wesentlich kleiner als bei allen anderen geprüften Chargen. Daß geübte Techniker auch nicht von großen Schwankungen der Paßgenauigkeit verschont bleiben, zeigen die bei gleichen Bedingungen gegossenen 4 Prüfkörper.

b) Kritik der Ergebnisse

Die unterschiedlichen Expansionswerte in sämtlichen Versuchsreihen stellen die Frage, welche Schwankungen durch das angewandte Meßverfahren bedingt sind. Es wurde daher ein Gußkörper fünf-fach neu unter dem Mikroskop einjustiert und vermessen. Nur in zwei von vierzig Meßwerten wurde ein Fehler von 5μ überschritten. Man kann also annehmen, daß eine Messung auf $\pm 5\mu$ mit dem Verfahren möglich ist.

Rechnet man diese 5μ in prozentuale Abweichung für einen Durchmesser von 5 mm, der dem Durchmesser der kleinen Meßkörper in etwa entspricht, um, so ergeben sich Abweichungen von $\pm 0.1\%$. Dieser Wert wird bei Mittelung, die in jeder Ebene über 4 Durchmesser erfolgte, sogar noch überschritten. Die restlichen Schwankungen sind, wie man das durchs Mikroskop leicht erkennen kann, durch die Oberflächenbeschaffenheit des Rohgusses bedingt. Insofern läßt die Meßmethode keinen Schluß auf die endgültige Paßgenauigkeit etwa nach Sandstrahlen, Entfernen der Gußperlen durch gezieltes Ausschleifen, oder Behandlung der Kroneninnenwandung, mit Bimstein, zu.

Was man mit dieser Methode gut nachprüfen kann, ist zweifellos die Veränderung der einzelnen Durchmesser im Verhältnis zueinander. Allerdings ist dabei ein großes Versuchsgut, das unter konstanten Bedingungen hergestellt wurde, notwendig. Gerade darin besteht die Schwierigkeit, denn das Meßverfahren ist äußerst aufwendig und zeitraubend.

An dieser Stelle muß auch gesagt werden, daß für wirklich gleichbleibende Versuchsbedingungen etwas mehr notwendig ist, als die im allgemeinen Studentanlabor zur Verfügung stehenden Geräte.

Die Verwendung der im Spritzgußverfahren hergestellten Wachskörper mag etwas praxisfremd erscheinen, weil diese nicht auf einem Stumpf hergestellt und auf diesem kontrolliert werden konnten, doch bietet diese Methode den großen Vorteil, daß das Wachsmode'll unabhängig von seiner Herstellung Urform für das gegossene Metallhütchen ist. So werden etwaige kleine Abweichungen von der Norm individuell berücksichtigt und gehen als Fehler gegenüber der fertigen Gußform ein.

4. Zusatzversuch

a) Begründung

Die Ergebnisse aus den Vorversuchen, bei denen die Ränder unter starker Überexpansion förmlich aufgebogen wurden, legen den Verdacht nahe, daß sich diese Verformung während dem Abbindevorgang der Einbettmasse abgespielt hat. Auch die unterschiedliche Vergrößerung, der verschiedenen starken Kronen, legt diese Vermutung nahe.

Folgende Fallunterscheidung ist denkbar:

1. Das WachsmodeLL expandiert durch die Erwärmung, die es durch die abbindende Einbettmasse erfährt, mehr als die Einbettmasse selbst. Das expandierende WachsmodeLL will sich hierbei gegen den Widerstand der Einbettmasse ausdehnen. Ergebnis wäre hierbei eine Verformung der Randzone nach innen.
2. Idealfall wäre eine gleiche Expansion von Einbettmasse und WachsmodeLL. Es würde zu keiner Formveränderung kommen.
3. Das WachsmodeLL expandiert weniger als die Einbettmasse, in diesem Fall wird sich die im Inneren der Krone befindliche Masse gegen die Innenwände des WachsmodeLLs stemmen und dieses an Stellen mit geringerem Widerstand verformen. Vorausgesetzt, daß die Masse um die Krone genügend Platz hat um sich von der Krone weg zu expandieren. Die schwächere Wachskrone wird entsprechend mehr geweitet, als eine starke.

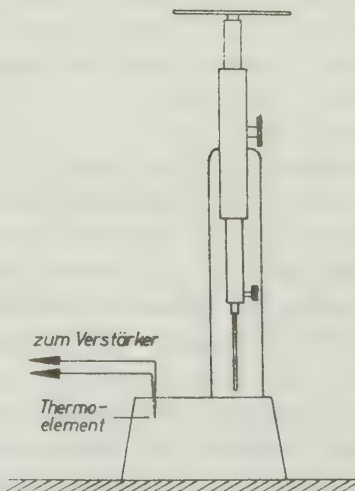
Um nun etwas Licht an diese Angelegenheit zu bringen, wurde versucht, die Temperaturerhöhung bei der Abbindung in Bezug zu bringen mit der Härte der abbindenden Masse.

b) Versuchsanordnung

Für die Untersuchung der Festigkeit der Einbettmasse wurde mit freundlicherweise von dem Institut für Bauwesen und Werkstoffprüfung der TU eine Vicatnadel zur Verfügung gestellt. Die Temperatur wurde mit Hilfe eines Thermoelements registriert (Abb. 23).

Abb. 23

Versuchsanordnung für die Zusatzversuche. Das Thermoelement ist in den mit Einbettmasse gefüllten Trog eingebracht



In den Trog des Vicatprüfgerätes wurde 20 Sekunden vorgespattelt und 1 Minute im Vakuum gerührte DEGUVEST - Einbettmasse gegeben. Die Abmessungen des Trogs entsprachen in etwa der Größe einer Muffel Nr. 3 von DEGUSSA.

Einen Zentimeter vom Rand des Gefäßes entfernt und in einem Zentimeter Tiefe wurde ein Kupfer - Konstantan Thermoelement fixiert. Diese Anordnung wurde unter die Vicatnadel gebracht und nach der DIN Vorschrift Nr. 1164 verfahren.

Das Auflagegewicht der Nadel betrug 300g. Als Vergleichstemperatur für das Thermoelement diente ein mit Wasser von Zimmertemperatur gefüllter Gipsnapf, der ständig durch einen Thermometer überwacht wurde, sich jedoch im Laufe des Tages höchstens um ein Grad veränderte. Während den einzelnen Messungen ließ sich jedoch keine Änderung feststellen.

Der Strom des Thermoelements wurde über einen Transistorenverstärker vorverstärkt und dann einem Physioskript zugeleitet. Die Empfindlichkeit des Geräts ließ sich so einstellen, daß bei erwarteter maximaler Erwärmung der Einbettmasse eine Skalenbreite erreicht wurde. Vor den Versuchen wurde jeweils das Gerät mit Wasserbädern verschiedener Temperaturen geeicht bzw. nur noch überprüft. Als Eichkurve ergab sich bei richtiger Eingrenzung der Skala nahezu eine Gerade.

Nun zum eigentlichen Versuchsablauf.

Beim Zusammengeben von Wasser und Pulver wurde das Gerät eingeschaltet und begann somit mit der Zeitmessung. Nach 20 Sekunden Vorspatteln und 1 Minute maschinellm Anrühren unter Vakuum, wurde die Masse in das Gefäß eingerüttelt. Verwendet wurde für diese Versuchsreihe nur DEGUVEST mit 75%-iger Flüssig-

keit. Das Thermoelement wurde mit Hilfe einer Schablone richtig fixiert und die Messung konnte beginnen. Wie sich aus ersten Versuchen mit der Vicatnadel als Nebenergebnis zeigte, wurde der Abbindevorgang der Einbettmasse durch das Einstechen der Nadel stark beeinträchtigt. Die Abbindezeiten verlängerten sich bei kleineren Gefäßen fast um das Doppelte. Um diesen Erfahrungen gerecht zu werden und den Abbindevorgang nicht mehr als unbedingt nötig zu stören, wurde mit der Härteprüfung erst bei Mattwerden der Einbettmasseoberfläche begonnen. In dem großen Gefäß durchdrang die Nadel dann im Durchschnitt, bei einem Abstand von etwa einer halben Minute, die Masse noch zwei bis dreimal, um dann spontan so zu erstarren, daß die Nadel bestenfalls nur noch einen halben Zentimeter in die Masse eindrang. Das Registriergerät lief daraufhin noch weiter, bis das Maximum der Temperaturkurve überschritten war.

c) Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Reihe waren zum Teil verwunderlich. Manche Proben zeigten trotz gleicher Bedingungen ein höheres Temperaturmaximum als andere. Eines jedoch war auffällig: Die Temperatur, bei der die Masse fest wurde, bewegte sich in einem sehr kleinen Intervall, das zwischen 28 und 31°C lag. Außerdem konnte festgestellt werden, daß das Temperaturmaximum wesentlich höher lag, wenn der Abbindevorgang schnell ablief. Proben mit niedrigem Temperaturmaximum hatten sehr langgezogene Temperaturkurven und auch die Erhärtung trat später ein. Um eine bessere Beziehung zu der in der Praxis häufig verwendeten Muffel Nr. 1 zu bekommen, wurde die gleiche Messung mit dieser Muffel durchgeführt. Nach der sonst für das Erstarren der Masse üblichen Zeit ließ ich diese immer noch durchdringen. Im Ganzen zeigte die kleine Muffel, zu den fünf Versuchswerten mit dem Vicatgefäß, wesentlich flachere Kurven. Die Erstarrung der Masse jedoch fand wieder im gewohnten Temperaturintervall statt. Vergleichswerte der Temperaturkurve ohne den Einstechversuch waren etwas höher aber im Ganzen jedoch sehr ähnlich wie die Abb. 14, 25 und 26 zeigen.

Die Maxima der Temperaturkurven lagen bei 55°C bei dem großen Gefäß und bei 33°C bei den kleinen Gefäßen. Was man noch an den Kurven feststellen kann ist ein Abweichen von dem sonst etwa linearen Temperaturanstieg und ein Steilerwerden der Temperaturkurve.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Masse zwar insgesamt beim Abbinden Temperaturen erreicht, die

zur Erwärmung jedoch nicht mehr in einer Entspannung oder Verformung des Wachsmodells, sofern ein Wachs vom Typ Präpon verwendet wurde, auswirken kann. Ob sich das Fließen der erstarrenden Einbettmasse unter der Wirkung der Nadel auch im Bereich unnachgiebiger Festkörper im Inneren der Masse abspielt, bleibt dahingestellt. Die Temperaturerhöhung vor dem Erhärten der Masse beträgt von einer angenommenen Zimmertemperatur von 22°C immerhin $6 - 9^{\circ}\text{C}$, was sich im Sinne einer Wachsexpansion, die in diesem Bereich nach NELKE (47) mit 0.07% pro $^{\circ}\text{C}$ doch merklich auswirkt.

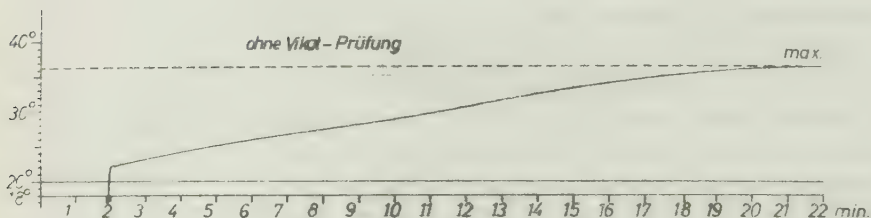


Abb. 24

Temperaturverlauf in $^{\circ}\text{C}$ gegen die Zeit aufgetragen, in der die verwendete Einbettmasse DEGUVEST erstarrt. Der Versuch wurde mit einer Muffel Nr. 1 vorgenommen. Die ersten 2 Minuten sind identisch mit der Anrührdauer, und der Zeit die zum Einfüllen der Masse in die Muffel benötigt wurde. Die Temperatur der eingebrachten Masse liegt mit 22°C , 2°C über der Zimmertemperatur.

Abb. 25

Mit der selben Muffel wurden noch Prüfungen durchgeführt, bei denen ab der 7ten Minute alle halben Minuten eine Festigkeitsprüfung mit der Vicatnadel vorgenommen wurde. Das Intervall, in dem die Masse fest wurde, war bei dieser kleineren Muffel wesentlich grösser als bei den Versuchen bei denen der zum Vicatgerät gehörige Trog verwendet wurde.

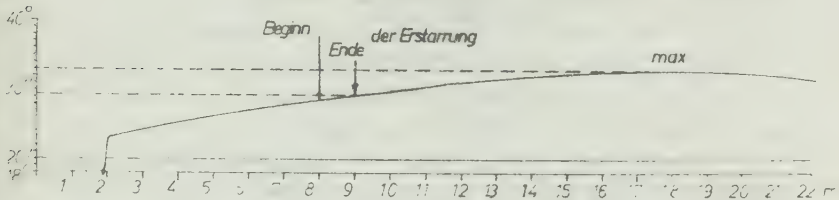
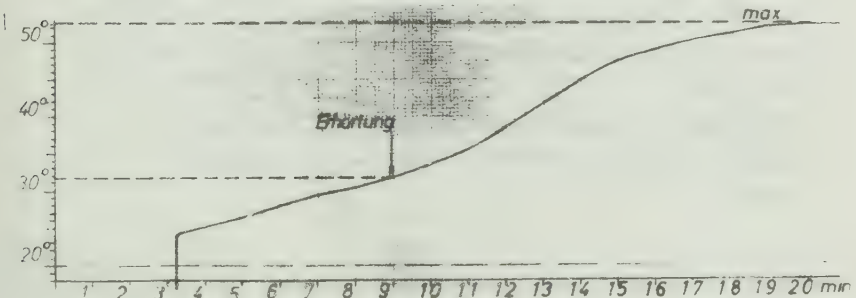


Abb. 26

Wärmeentwicklung in dem Vicat-Trog, der in seiner Größe etwa der Muffel Nr. 3 von DEGUSSA entspricht. Die Temperatur wurde im Randbereich 1 cm vom Rand entfernt und in 1 cm Tiefe gemessen. Die hauptsächliche Temperaturentwicklung findet erst nach dem Abbinden der Masse statt. Die Erstarrung tritt dabei nahezu schlagartig ein.



VI. Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Vorversuche, bei denen sich herausstellte, daß bei hochexpandierenden Einbettmasse die Ränder von Kronen mehr expandieren als die besser versteiften Okklusalbereiche, finden ihre Bestätigung einerseits bei STEGMAYER (61), der, allerdings mit Angußkronen, dasselbe Ergebnis hatte, besser allerdings noch bei SCHEU (55), der bei Verwendung seiner hygroskopischen Expansion eine Ausweitung der Ränder beobachtete.

Die Feststellung von REITHER (in einer Diskussion), nach der die Ränder eingezogen sein sollen, läßt sich in den Vorversuchen nirgends bestätigen. Lediglich bei den Hauptversuchen mit geringer Expansion, läßt sich eine Verengung des Randes in 1 - 2 mm Tiefe feststellen. Deutlicher wird diese Tatsache bei einer weniger widerstandsfähigen Einbettmasse wie KERR-Cristobalite, hier scheint bei der Endmittelung eine deutlich stärkere Kontraktion im direkten Randbereich aufzutreten. Diese Ergebnisse sind jedoch Artefakte. Wie an anderer Stelle schon erwähnt, sind im Randbereich die Kronen durch Sprünge in der Einbettmasse, kleine Metallfahnen, die eine Verengung des Kronenrandes bewirken.

Diese gehen gezwungenermaßen in die Meßergebnisse ein und verfälschen die Werte der Randzone.

Übereinstimmend mit HEHRING (26), der eine Schwankung der Expansionswerte von $\pm 0.2\%$ für unvermeidlich hielt, konnte festgestellt werden, daß die einzelnen Güsse zum Teil weit davon entfernt sind, eine exakte Wiedergabe vom Wachsmode'll zu sein. Insbesondere läßt die angewandte Meßmethode jeden Fehler zum Gußobjekt deutlich hervortreten und ergibt so zum Teil extreme Streuungen.

Dem Wunsch nach einer Überkompensation, der häufig insbesondere in der älteren Literatur ausgesprochen wird, wird die untersuchte Einbettmasse DEGUVEST in vollem Umfange gerecht. Die Expansionswerte schiessen jedoch, wie die einzelnen Versuchsreihen ergeben, zuweilen weit über das Ziel hinaus. Daß diese Ergebnisse mit der angewandten Versuchsmethode richtig sind, bestätigen auch vergleichende Untersuchungen mit KERR-Cristobalite bei einfacher Vakuum-einbettung ohne hygroskopische Expansion. Die Restkontraktionen von durchschnittlich 0.2% finden auch in den Angaben von LINDERMAN (43), ZÄHRINGER (72) u.a. ihre Bestätigung. Erstaunlich ist dieses Ergebnis vor allem deshalb, weil DREYER-JORGENSEN (19) äußerte, daß die Expansionswerte letzten Endes von der Meßmethode abhängen, und nur relative Aussagen gemacht werden können.

Die Frage, ob ein solches Meßverfahren mit seinem Aufwand mit den Ergebnissen in Relation zu bringen ist, mag dahingestellt bleiben. Der Autor ist hier sicherlich befangen.

V. Zusammenfassung

Trotz ständiger Verbesserung der Herstellungstechnik von Gußkronen, läßt die Genauigkeit dieser Kronenform, wie die kürzlich, nach einem Befundbogen von EICHNER (13), ermittelten Statistiken zeigen, noch in vielen Fällen zu wünschen übrig.

Entweder ist die Krone zu eng und läßt sich nicht ganz auf den Stumpf schieben, oder sie hat genügend Weite, dann aber steht sie in den meisten Fällen am Rand ab. Es ist daher anzunehmen, daß sich eine Überkompensation, wie sie für ein leichteres Aufpassen der Gußkronen gefordert wird, unterschiedlich auf die einzelnen Kronenpartien auswirkt.

Diese Dimensionsänderung sollte durch eine von REITHER (50) entwickelte optische Meßmethode überprüft werden. Vier Kronenformen, zwei grose mit 1mm starker Wandung und 1/2mm starker Wandung und 10mm Durchmesser, sowie zwei kleine ebenfalls mit 1mm und 1/2mm starker Wandung, die einen Durchmesser von 5mm aufwiesen, wurden in den Vorversuchen auf ihre Brauchbarkeit untersucht. Von jeder der vier Formen wurden die im Wachsspritzgußverfahren hergestellten Ausgangskronen vermessen und die Werte mit der fertigen Gußkrone verglichen.

In den Hauptversuchen wurde nur noch auf die zwei kleineren Kronenformen eingegangen; diese dafür jedoch eingehender untersucht, dies war statthaft,

da sich in den Vorversuchen keine wesentlichen Unterschiede der prozentualen Expansionen von entsprechenden kleinen und großen Prüfkörpern ergab.

Bei der Mittelung der Werte, ließ sich bei allen Formen eine Abnahme der Expansion von den Rändern zum Kronendeckel hin feststellen. Ferner ergab sich eine stärkere Expansion bei dünneren Kronenwandungen. Das würde bedeuten, daß insbesondere Kronen, die im Randbereich zierlich modelliert sind und nach okklusal hin stärkere Wände aufweisen, nicht ganz auf den Stumpf aufzuschieben sind und zugleich im Randbereich abstehen. Die Expansionswerte untereinander zeigen zum Teil starke Streuungen. Die großen Schwankungen der Einzelwerte sind einerseits zurückzuführen, auf das Übergenaue Meßverfahren, das jede kleinste Unebenheit des Gußobjekts mitregistriert, andererseits auf die, auch bei größtem Bemühen nicht auszuschaltenden Einflüsse, die in einem Gebrauchslabor auftreten.

Ein Entlüftungskanal brachte keine Vorteile. Die Entlüftung über einen dünnen Einbettmasseboden ohne Anbringen eines Kanals, erwies sich als geeigneter, zu Erzielung lunkerfreier Güsse.

In einem Zusatzversuch sollte geklärt werden, ob die Einbettmasse, die während des Abbindens eine starke Wärmeentwicklung aufwies, bereits vor dem Erreichen einer, für das Wachs kritischen, Temperatur erstarrt, oder ob durch Er-

- 74 -

wärmen des Wachsmodells eine Verformung durch die bereits expandierende Einbettmasse möglich ist.

Wie diese Versuche zeigten, erreichte die Masse vor dem Festwerden in allen Fällen bestenfalls eine Temperaturerhöhung von 10°C vor dem Erstarren. Damit war nur eine Wachsexpansion, nicht aber eine Wachserweichung, gegeben.

VI. Schrifttum

1. Arzneimittelausschuß
der SSO Dilatometerversuche zur
Bestimmung des thermischen
Verhaltens von Einbettmassen
für Goldguß
SSO, 74 H 10 (1964)
2. Beeck, K. H. Prüfung zahnärztlicher Guß-
verfahren und ihre praktische
Anwendung
Dtsch. zahnärztl. Z.
13, 470 (1958)
3. Custer, F. und
De Salvo The accuracy of castings
produced by various invest-
ments
J. Proth. Dent. 19, 3 (1968)
4. Degussa Brief 23 (1955)
5. Degussa Brief 24 (1956)
6. Degussa Brief 30 (1960)
7. Degussa Brief 38 (1966)
8. Degussa Brief 39 (1968)
9. Dreyer- Jörgensen, K. Untersuchungen über Prä-
zisions-Gußtechnik
Quintess. Ref. 493 (1954)
10. Dreyer- Jörgensen, K. Prüfungsergebnisse zahnärztli-
cher Gußverfahren
Dtsch. zahnärztl. Z.
13, 461 (1958)
11. Ebersbach, W. und
Gehre, G. Verbesserung der Paßfähigkeit
von Modellgußobjekten durch Be-
einflussung der Expansion der
Modelleinbettmasse LAW
Dtsch. Stomat. 18, H 12 (1968)
12. Eichner, K. und
Voss, R. Der Kronenrand
Dtsch. zahnärztl. Z.
26, 7 (1971)

13. Eichner, K. und Mitarbeiter
Leitfaden der zahnärztlichen Werkstoffe und ihre Verarbeitung
Berlinische Verlagsanstalt (1960)
14. Engler, S.
Zit. aus Voss, E.
Zu speziellen Fragen der Gußtechnik
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 10, 1220 (1967)
15. Falck, K.
Über das "Angießen"
Dtsch. zahnärztl. Wschr. H 6 (1933)
16. Falck, K. und Weikart, P.
Werkstoffkunde für Zahnärzte
Carl Hanser Verlag München (1959)
17. Fuchs, K. D.
Der Einfluß der Gußapparate auf die Qualität des zahnärztlichen Gusses
Med. Diss. Mainz (1967)
18. Fuhr, K., Kares, K. und Siebert, G.
Nachuntersuchungen festsitzenden Ersatzes
Dtsch. zahnärztl. Z. 26, 716-726 (1971)
19. Fusayama, T.
Faktoren und Technik von Präzisionsgüssen
Quintess. Ref. 1328,12 (1959)
20. Gerlach, H. P.
Wie weit können die Kaltexpansionen der Einbettmassen und die Wachsexpansion das Gußresultat beeinflussen
Dtsch. zahnärztl. Wschr. 31 (1933)
21. Grassl, J. F.
Verbesserung der Oberfläche von Güssen durch Netzmitteln und Vakuumeinbettung
Dtsch. zahnärztl. Z. 9, 1057 (1954)
22. Gropp und Schwindling, R.
Statistische Feststellungen über fehlerhafte Kronengestaltung mit Folgen auf Zahn, Parodont und Gingiva
Dtsch. zahnärztl. Z. 26, 734 (1971)

23. Groth, F. Vergleichende Untersuchungen für die werkstoffkundliche Abstimmung von Abform- und Modellmaterial bei der Kronenherstellung
Med. Diss. München (1972)
24. Gründler, H. Das moderne Guß- und Lötverfahren in der Zahntechnik
Das Dental-Labor 16, 3
113-116 (1968)
25. Harndt, E. Die Güßfüllung. Ihre praktische Durchführung zur Prophylaxe der Zahnkaries und der paradentalen Erkrankungen
Johann Ambrosius Barth Verlag
Leipzig 4, (1953)
26. Hehring, H. Die prozentualen, linearen Veränderungen eines Palliaggusses in Abhängigkeit von verschiedenen Einbettmethoden
Med. Diss. Berlin (1955)
27. Henning, G. Der Einfluß von Netzmitteln auf die Oberflächenqualität von Güssen
Das Dental-Labor H 10, 17-18 (1970)
28. Hollenback, G. K. Vergleich der Genauigkeit von drei verschiedenen Gußmethoden
Quintess. 14, 10 Ref. 2219 (1963)
29. Hüttner, G. Nachuntersuchungen von Kronen- und Brückenersatz in bezug auf Kronenrand und marginale Parodontien
Dtsch. zahnärztl. Z.
26, 724 (1971)
30. Ilg, V. K. Untersuchungen zur indirekten Technik. Teil I: Gedanken zur indirekten Technik
Dtsch. zahnärztl. Z. 14, 1305 (1959)

31. Ilg, V. K. Über Expansions- und Kontraktions-
erscheinungen der indirekten Tech-
nik
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 58, 95 (1948)
32. Janke, G. Ein neues laborgerechtes Verfah-
ren für den Präzisionsguß von
Edelmetallen
Dtsch. Zahnärztebl. 20, 12, 413 (1966)
33. Janke, G. Sichere Präzisionsgüsse mit ein-
fachen Mitteln hergestellt
Das Dental-Labor 4, 5-8 (1953)
34. Janke, G. Zur Frage der Filmdicke von
Befestigungszementen
Dtsch. zahnärztl. Z. 25, 1061 (1970)
35. Jung, T. und Das Gußgefüge am Kronenrand
Quast
Dtsch. zahnärztl. Z. 26, 8,
785-792 (1971)
36. Kasloff, Z. Casting technics and some
variables
J. Proth. Dent. 11, 53 (1961)
37. Könsgen, W. Paßgenauigkeit von Gußringen
bei der Vakuumeinbettmethode,
vergleichende Untersuchungen
mit der Schichtkernmethode und
dem Schleudereinbettverfahren
Med. Diss. Marburg (1956)
38. Kraft, E. Klinische und werkstoffkundliche
Gesichtspunkte zur Frage der Band-
oder Gußkrone
Zahnärztebl. Praxis 18, 101 (1967)
39. Kraft, E. Die Gestaltung des Kronenrands
Dtsch. zahnärztl. Z. 24, 750 (1969)
40. Kubasch, W. Zit. aus Zähringer, W.
Guß- und Angußkronen Untersuchungen
über die Paßgenauigkeit in Abhängig-
keit vom Präparationswinkel
Med. Diss. München (1963)

41. Kyselova, J.,
Kyela, B. und Mares, J. Kontraktionsdefekte der Dentalgüsse und Möglichkeiten ihrer Beseitigung
Dtsch. zahnärztl. Z. H 22 (1958)
42. Lenz, E. und
Welker, D. Untersuchungen der Abbinde-expansion und des thermovolumetrische Verhaltens von Einbettmassen
Dtsch. Stomat. 22, 3 (1972)
43. Lindermann, R. Untersuchungen über Wege zur Erzielung größter Gußgenauigkeit in der Inlaytechnik
Med. Diss. (1957)
44. Marx, H. Über den Einfluß des Gußverfahrens auf die Poren- und Lunkerbildung
Dtsch. zahnärztl. Z. 12, 10 (1967)
45. Marx, H. Auswirkungen der sogenannten Schnelleinbettung durch Super-Setting-Zusatz
Dtsch. zahnärztl. Z. 23, 3 (1968)
46. Maves und Lasater, R.L. Zit. aus Bonsack
Der heutige Stand des Gußproblems
Dtsch. zahnärztl. Z. 8, 1 (1953)
47. Nelke, J. Untersuchungen über die physikalischen Eigenschaften von Gußwachsen und ihre Nutzenanwendung für die zahnärztliche Gußtechnik
Med. Diss. Freiburg (1938)
48. Phillips, D. W. Present Day Recesion Inlay Investing and Casting Technic
J. Amer. Dent. Ass. 24, 1470-1479 (1937)
49. Przetak, Z. und
Bölte, D. Das Vakuum-Kaltgußverfahren mit Langzeitvorwärmung bei niedrigen Temperaturen
Das Dental-Labor 12, 590-591 (1967)

59. Schwindling, R. Untersuchungen der Oberflächen-
feinstruktur von Metallgüssen
bei verschiedener Einbettungsart
unter Vakuum
Zahnärztl. Rdsch. Berlin 18,
477-483 (1955)
60. Spreng Zit. aus Zähringer, W.
Guß- und Angußkronen Untersuchungen
über die Paßgenauigkeit in Abhängig-
keit vom Präparationswinkel
Med.Diss. München(1963)
61. Stegmeyer, B. Vergleichende Untersuchungen über
die Dimensionsänderungen von Guß-
objekten im zahnärztlichen An-
gußverfahren
Dtsch. zahnärztl. Z. 21, 256-263
(1966)
62. Volland, R. H. und Zit. aus Bonsack
Paffenbarger, G. C. Der heutige Stand des Gußpro-
blems
Dtsch. zahnärztl. Z. 8, 1 (1953)
63. Vest, G. Lehrbuch der zahnärztlichen Kro-
nen- und Brückenprothetik
Band I: Kronenprothetik
Birkhäuser Verlag Basel 1951
64. Voss, E. Zu speziellen Fragen der Guß-
technik
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 10,
1220 (1967)
65. Wagner, E. Beitrag zum Präzisionsverfahren
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 10,
1215 (1967)
66. Wagner, E. Ausgleich des Volumendefizits
beim Präzisionsguß
Das Dentallabor 16, 8, 414-416 (1968)
67. Weikart, P. Zum Thema Präzisionsguß
Zahnärztl. Welt Konstanz 4, 10 (1955)

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 69. Wetterström, E. T. | Zit. Degussa-Brief 30
(1960) |
| 70. Windecker, P. und
Ohle, K. | Einfluß des Herstellungsverfahrens auf den Randschluß von Metallvollkronen

Dtsch. zahnärztl. Z. 26, 7 (1971) |
| 71. Wiesinger, H. | Untersuchungen und Gedanken über den Expansionsguß

Zahnärztl. Rdsch. 17/18 (1933) |
| 72. Zähringer, W. | Guß- und Angußkronen
Untersuchungen über die Paßgenauigkeit in Abhängigkeit vom Präparationswinkel

Med. Diss. München (1963) |

Für die Überlassung des Themas, die freundliche Unterstützung und Beratung, möchte ich meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Ewald Kraft, herzlich danken.

Danken möchte ich insbesondere auch Herrn Dr. Ewald Wagner, dem Leiter der metallographischen Abteilung der Firma Degussa in Pforzheim, für die anregenden Gespräche, sowie für die Beschaffung der verwendeten Materialien.

LEBENS LAUF

Am 21. Juni 1945 wurde ich, Eberhard Schraft, als Sohn des Kalkulators Ernst Schraft und seiner Ehefrau Martha, geb. Maugg, in München geboren.

In Eichenau besuchte ich ab September 1951 die Volksschule und kam dann nach fünf Jahren in die Luitpold-Oberrealschule in Wasserburg am Inn, wo ich 1965 das Abitur ablegte.

Nach zwei Semestern Mathematik-Physik an der TH in München, bewarb ich mich um die Zulassung zum Zahnmedizinstudium.

In Anschluß an das Staatsexamen, im Winter 1971, trat ich am 1. Januar 1972 die Stelle eines Verwalters der Dienstgeschäfte eines wissenschaftlichen Assistenten in der Prothetischen Abteilung der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten an.

